

- 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. - Quantité de mouvement d'un système matériel.	- Justifier qualitativement la position du centre de masse d'un système matériel, cette position étant donnée. - 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.

I- Grandeurs intervenant dans les lois de la dynamique

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



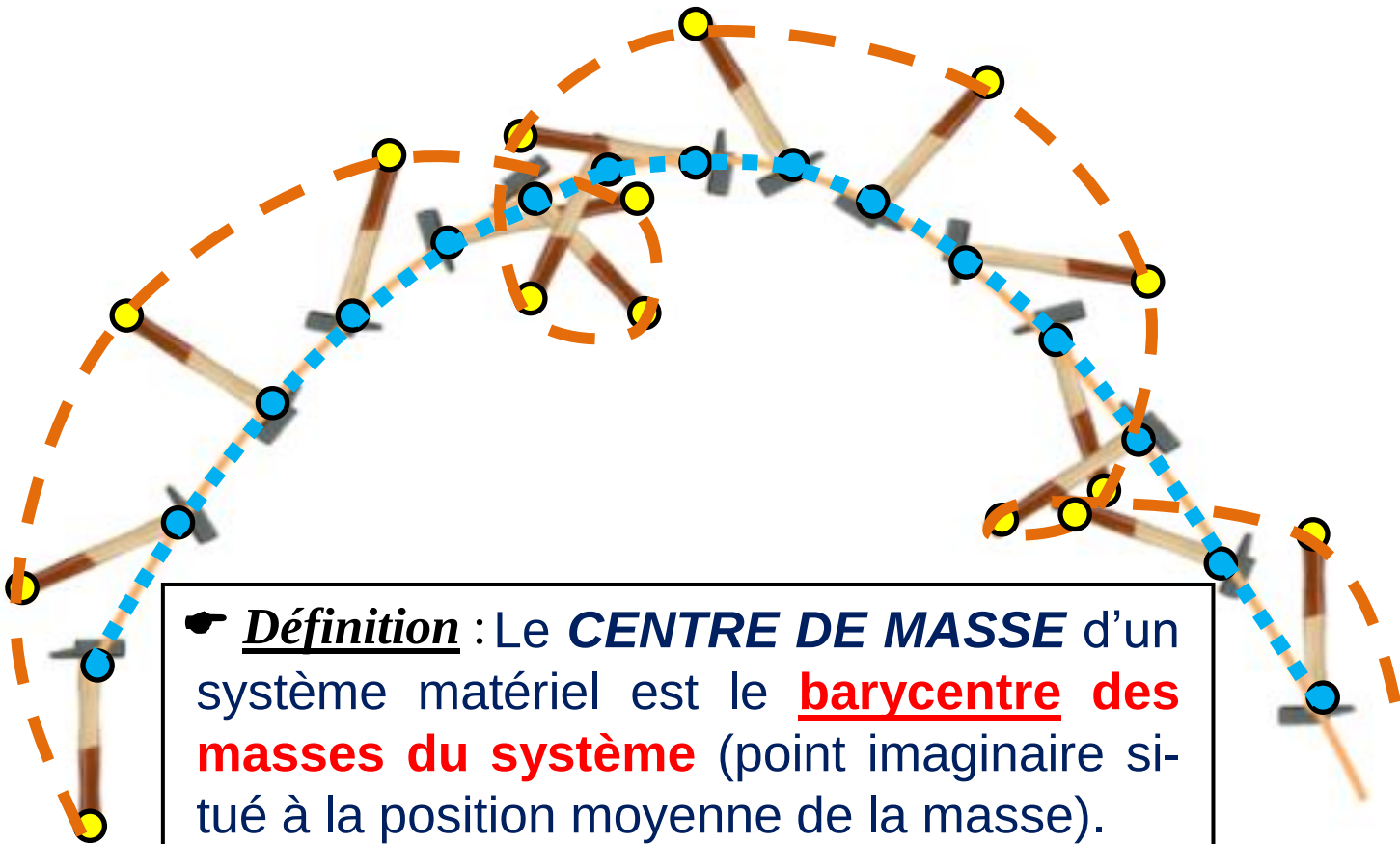
- ☛ **Définition** : La **MASSE** d'un corps est une **grandeur physique qui mesure sa capacité à résister à la mise en mouvement**.
- ☛ **Propriétés** :
 - Elle s'exprime en kilogramme (kg) et sa valeur ne dépend pas du référentiel.
 - Elle est **d'autant plus grande que le corps est inerte** (c'est-à-dire qu'il résiste à sa mise en mouvement).
 - La masse d'un système matériel **fermé** est **constante**.



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

☛ Définition : La **MASSE** d'un corps est une **grandeur physique qui mesure sa capacité à résister à la mise en mouvement**.

- ☛ Propriétés :
- 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).
 - La masse d'un système matériel **fermé** est **constante**.



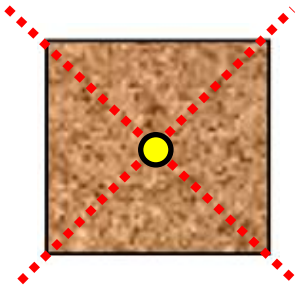
☛ Définition : Le **CENTRE DE MASSE** d'un système matériel est le **barycentre des masses du système** (point imaginaire situé à la position moyenne de la masse).

☛ **Définition** : Le **CENTRE DE MASSE** d'un système matériel est le **barycentre des masses du système** (point imaginaire situé à la position moyenne de la masse).

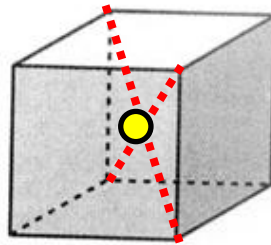


CENTRE DE MASSE = CENTRE D'INERTIE $\approx$ CENTRE DE GRAVITE.

☛ **Application 1** : Où se situe le centre de masse des différents systèmes ci-dessous ?



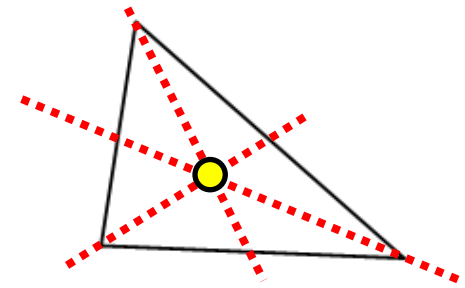
Carrelage



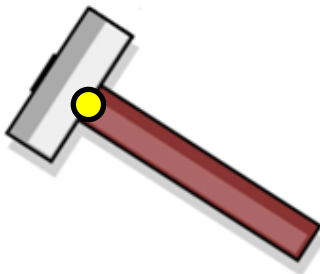
Cube



Boule



Triangle



Marteau

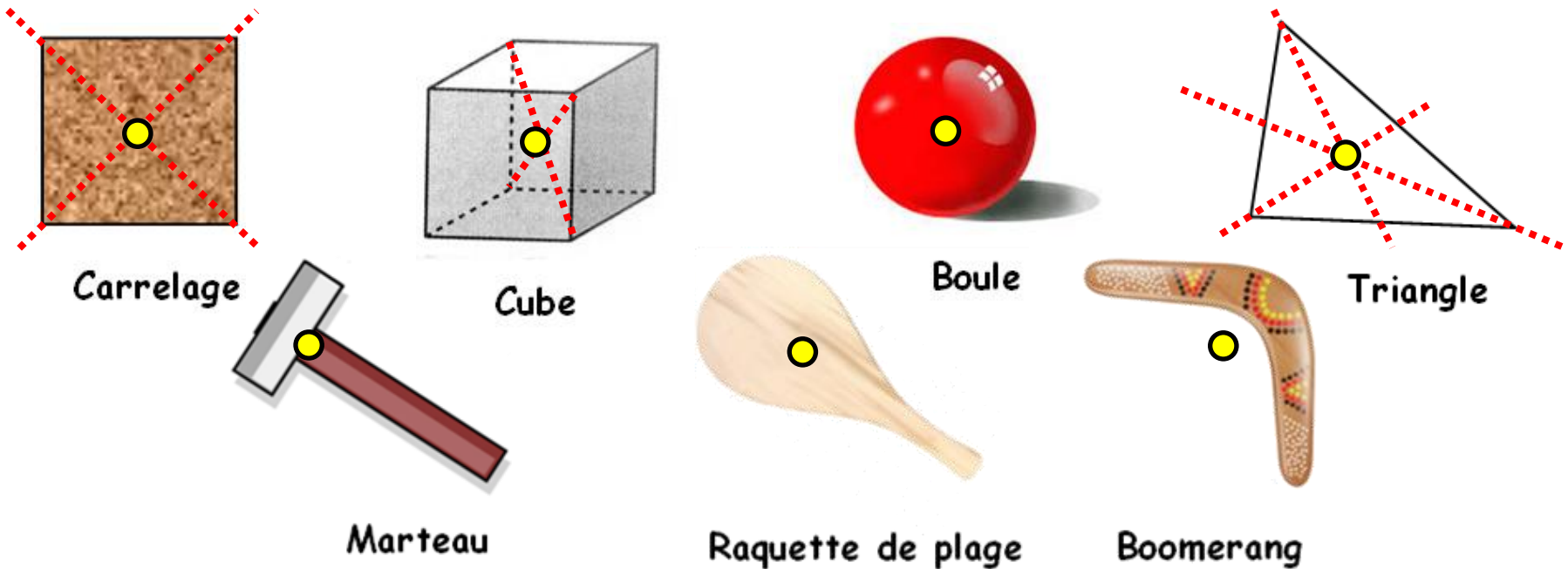


Raquette de plage



Boomerang

✂ **Application 1** : Où se situe le centre de masse des différents systèmes ci-dessous ?



2) Le vecteur quantité de mouvement

☛ **Définition** : Le **Vecteur QUANTITE DE MOUVEMENT** du centre de masse M d'un système est égal au produit de sa masse m par le vecteur vitesse du point M :

$$\text{kg.m.s}^{-1} \quad \vec{p}(M) = m \times \vec{v}(M) \quad \text{m.s}^{-1}$$

kg

☛ **Propriétés** :

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

2) Le vecteur quantité de mouvement

☛ Définition Le **Vecteur QUANTITE DE MOUVEMENT** du centre de masse M d'un système est égal au produit de sa masse m par le vecteur vitesse du point M :

$$\text{kg.m.s}^{-1} \quad \vec{p}(M) = m \times \vec{v}(M) \quad \text{m.s}^{-1}$$

kg

☛ Propriétés :

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

3) Forces exercées en un point matériel

FORCE = cause de la modification du mouvement d'un objet

☛ Définition : Une force est une **action mécanique susceptible de modifier la quantité de mouvement** d'un système

☛ Propriétés : Une force est une **grandeur vectorielle** dont l'unité est le **Newton (N)**, possédant les trois coordonnées F_x , F_y et F_z dans un repère cartésien $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.

$$\vec{F} = F_x \times \vec{i} + F_y \times \vec{j} + F_z \times \vec{k}$$

3) Forces exercées en un point matériel

☛ Définition : Une force est une **action mécanique** susceptible de modifier la quantité de mouvement d'un système

☛ Propriétés : Une force est une **grandeur vectorielle** dont l'unité est le **Newton** (N), possédant les trois coordonnées F_x , F_y et F_z dans un repère cartésien $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.

$$\vec{F} = F_x \times \vec{i} + F_y \times \vec{j} + F_z \times \vec{k} \quad \text{ce qui se note} \quad \vec{F} \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix}$$

Sa valeur ne dépend pas du référentiel d'étude.

a/ Le poids $\vec{P}$ $\vec{g}$ = champ de pesanteur de l'astre au niveau du système

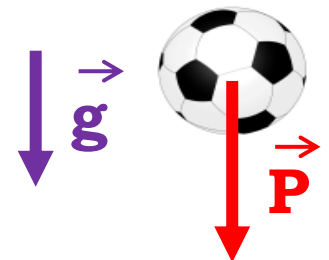
☛ Définition : Le poids exercé par un astre sur un système de masse m situé à sa surface est une **force modélisant l'attraction qu'exerce l'astre** sur ce corps.

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

N kg N.kg⁻¹
ou m.s⁻²

☛ Propriétés :

- Origine = centre de masse du système ;
- Direction = verticale du lieu (droite reliant le centre de masse de l'astre et celui du système) ;
- Sens = du centre de masse du système vers celui de l'astre.



a/ Le poids $\vec{P}$ $\vec{g}$ = champ de pesanteur de l'astre au niveau du système

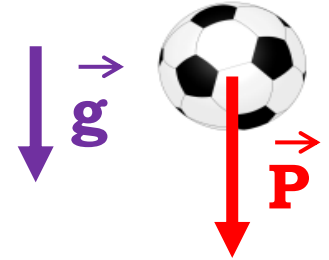
☛ **Définition** : Le poids exercé par un astre sur un système de masse m situé à sa surface est une **force modélisant l'attraction qu'exerce l'astre** sur ce corps.

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

N kg N.kg⁻¹
ou m.s⁻²

☛ **Propriétés** :

- Origine = centre de masse du système ;
- Direction = verticale du lieu (droite reliant le centre de masse de l'astre et celui du système) ;
- Sens = du centre de masse du système vers celui de l'astre.

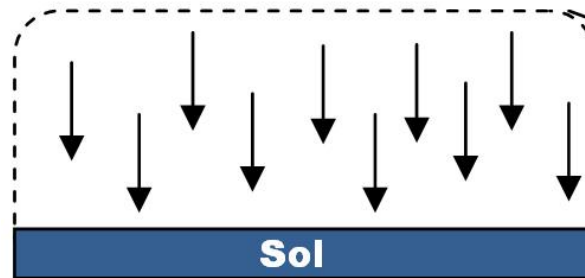


➡ **A propos du vecteur $\vec{g}$** :

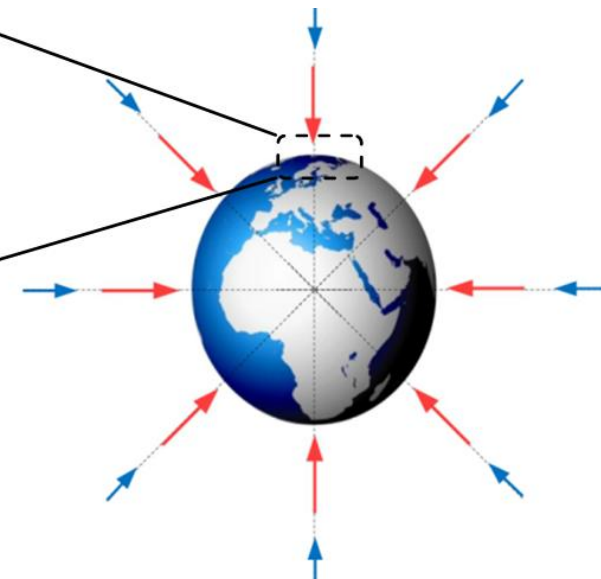
☞ **Application 2** : A quelle condition peut-on considérer le champ de pesanteur uniforme à la surface d'une planète ?

Le vecteur champ de pesanteur est **UNIFORME** s'il a **même direction**, **même sens** et **même norme** en tout point de l'espace.

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



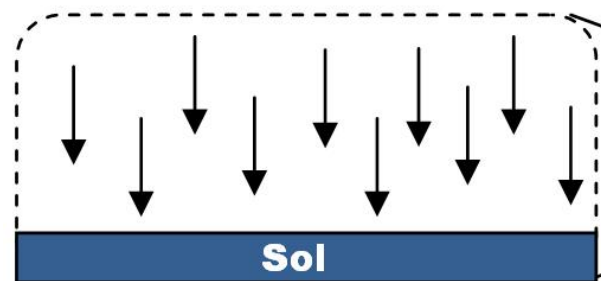
Les flèches représentent les vecteurs champ de pesanteur $\vec{g}$ en différents points.



➡ A propos du vecteur $\vec{g}$:

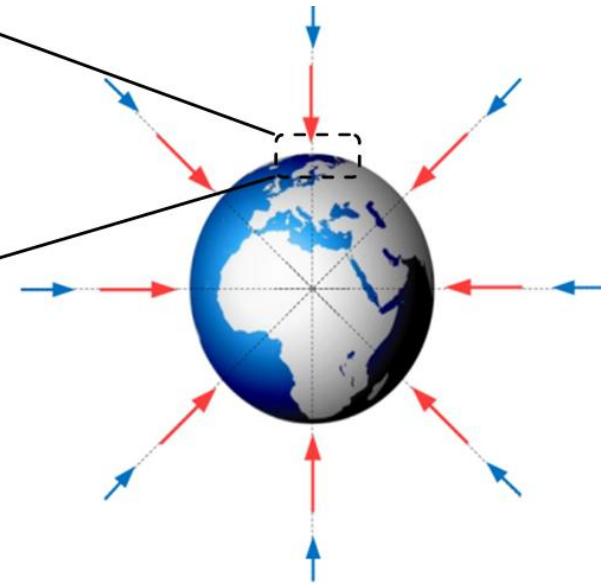
✎ Application 2 : A quelle condition peut-on considérer le champ de pesanteur uniforme à la surface d'une planète ?

Le vecteur champ de pesanteur est **UNIFORME** s'il a même direction, même sens et même norme en tout point de l'espace.



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

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



Or : - sa norme diminue quand l'**altitude** D augmente ;
- sa direction et son sens varie avec **la latitude** et **la longitude** du point M ;

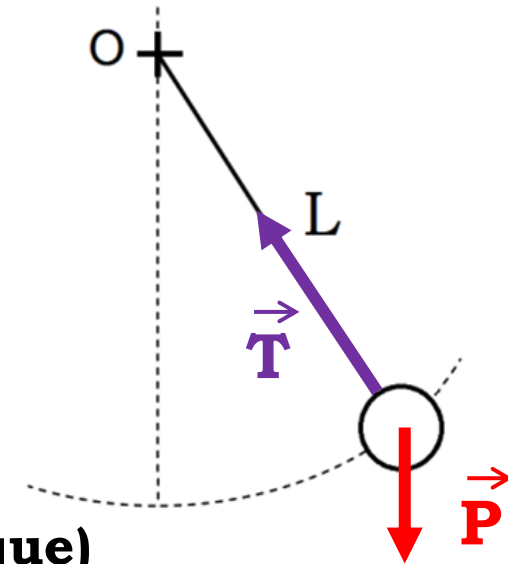
➡ A la surface d'une planète, le champ de pesanteur est UNIFORME dans une zone de l'espace de petite dimension par rapport aux dimensions de la planète.

Or : - sa norme diminue quand l'**altitude** D augmente ;
- sa direction et son sens varie avec **la latitude** et **la longitude** du point M ;

➔ A la surface d'une planète, **le champ de pesanteur est UNIFORME dans une zone de l'espace de petite dimension par rapport aux dimensions de la planète.**

b/ La Tension $\vec{T}$ d'un fil

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



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

☛ Définition : Un matériau est **ELASTIQUE** si, **après avoir été déformé sous l'effet d'une contrainte externe** (étirement ou compression), **il revient à sa forme initiale** lorsque la contrainte cesse.

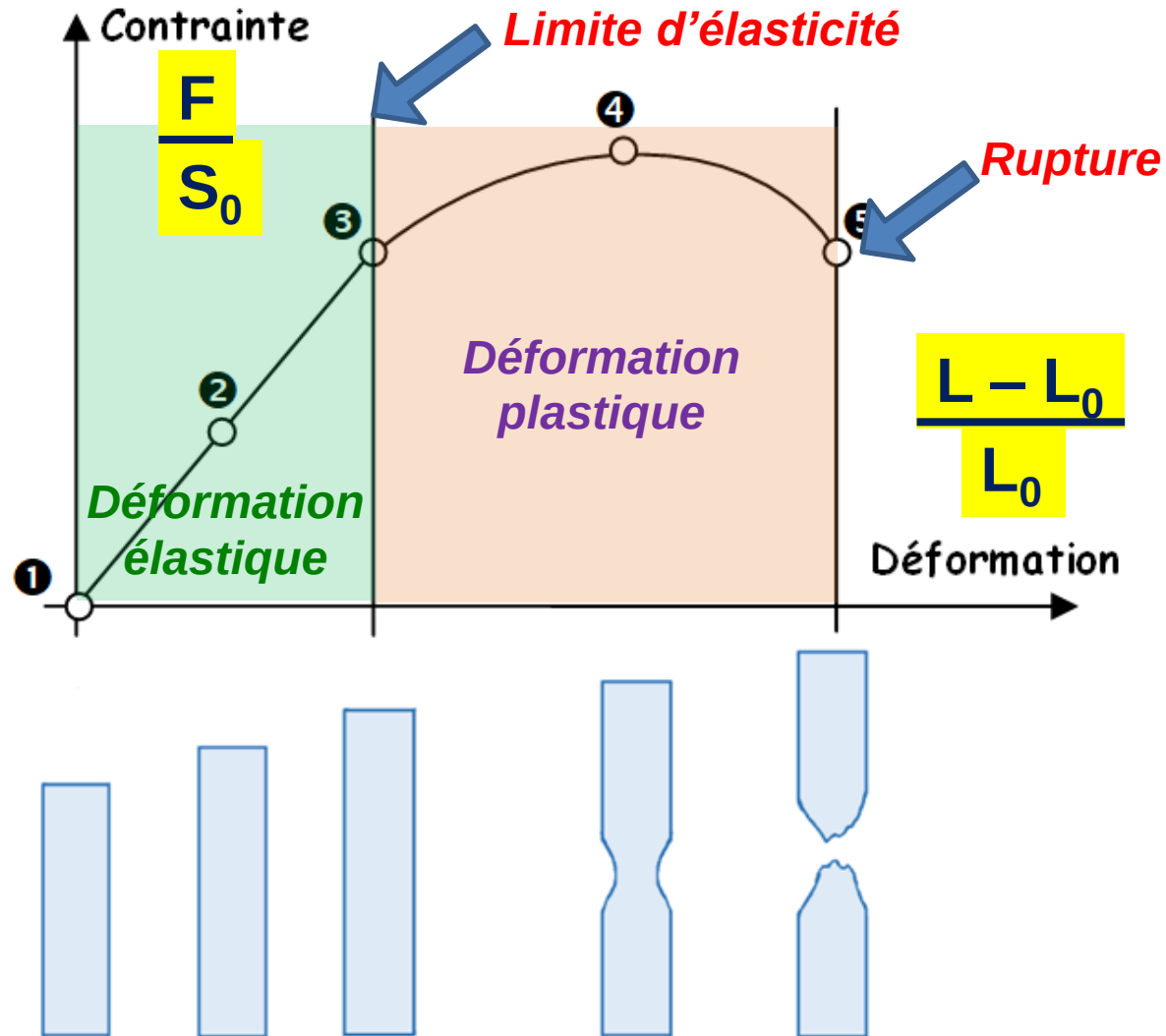
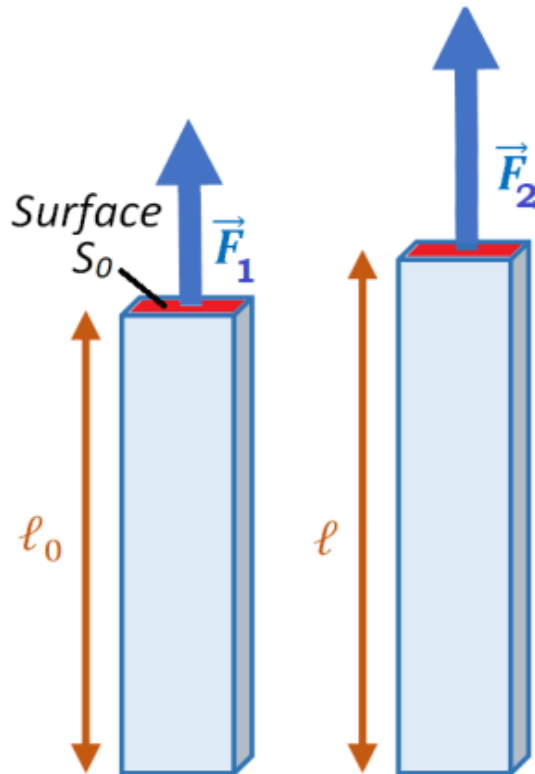
☛ Propriétés :

- Une **DEFORMATION ELASTIQUE** est **réversible**.
- Il existe une limite, appelée **LIMITE D'ELASTICITE**, au-delà de laquelle le matériau cesse d'être élastique.

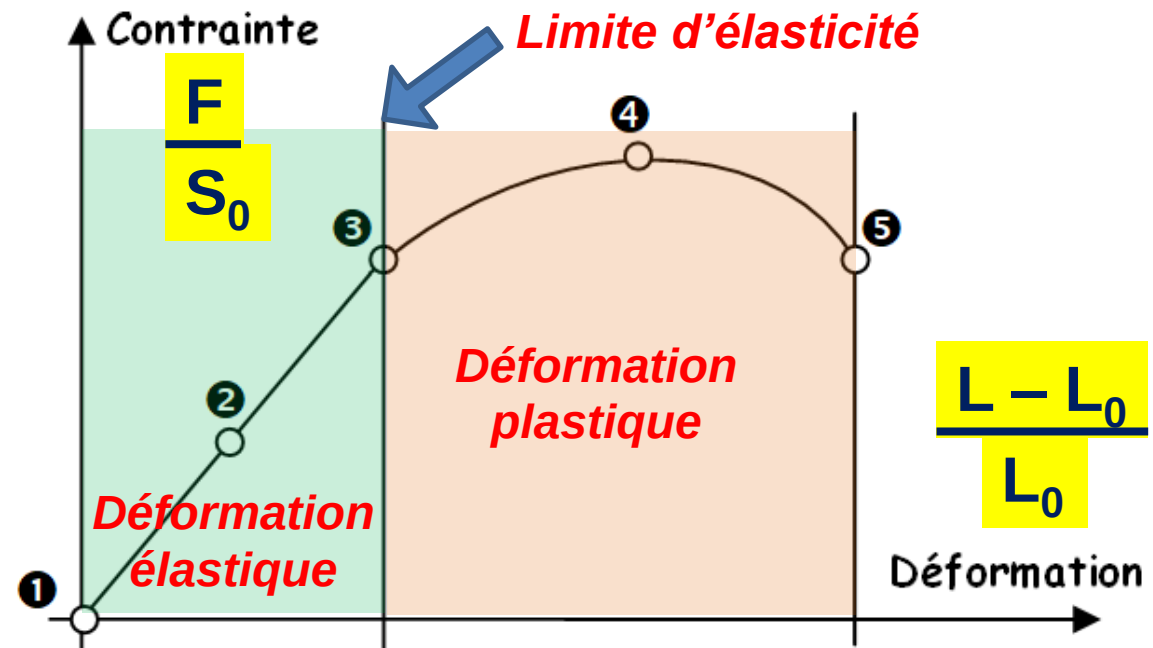
c/ La Tension d'un ressort (force de rappel élastique)

- ☛ Propriétés :
- Une **DEFORMATION ELASTIQUE** est réversible.
 - Il existe une limite, appelée **LIMITE D'ELASTICITE**, au-delà de laquelle le matériau cesse d'être élastique.

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



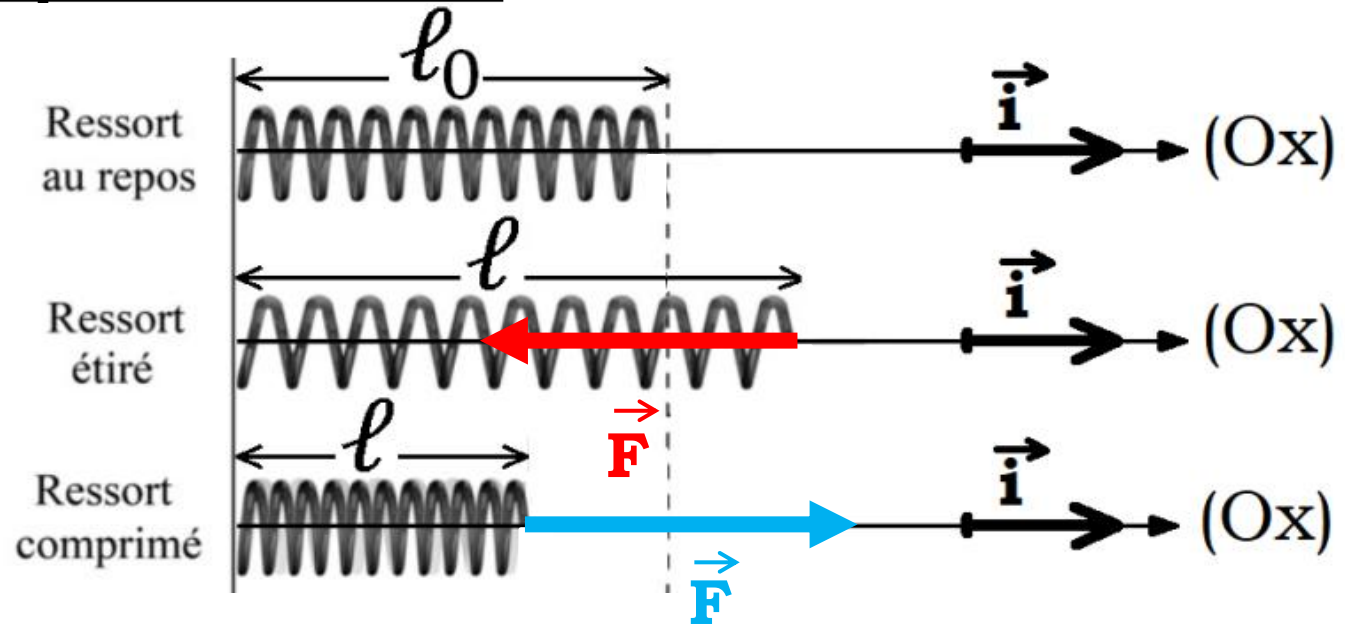
Application 3 :
 Repérer la limite d'élasticité sur le graphique.



➔ Un matériau élastique : le RESSORT :

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

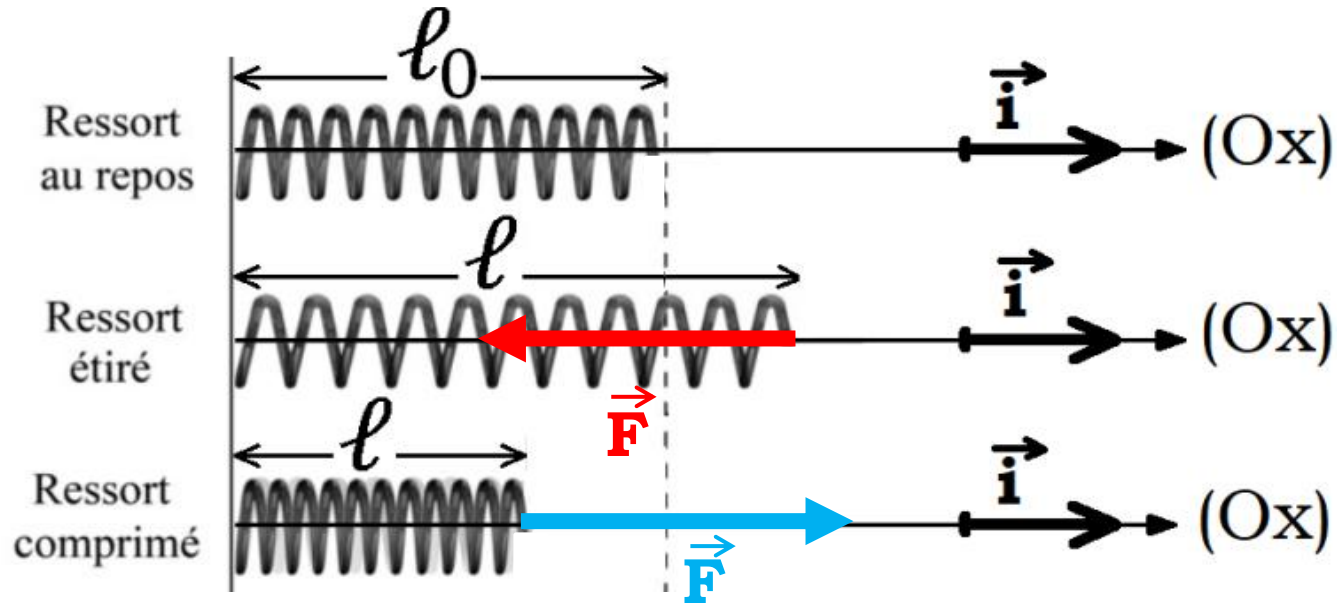
$\vec{F}$ = Force de RAPPEL du ressort



➔ Un matériau élastique : le RESSORT :

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

$\vec{F}$ = Force de RAPPEL du ressort



☛ Définition : Dans l'*approximation linéaire*, la force de rappel exercée par un ressort est proportionnelle à l'allongement $l - l_0$ de celui-ci, la constante de proportionnalité étant la constante de raideur k du ressort.

$$\vec{F} = -k \times (l - l_0) \times \vec{i}$$

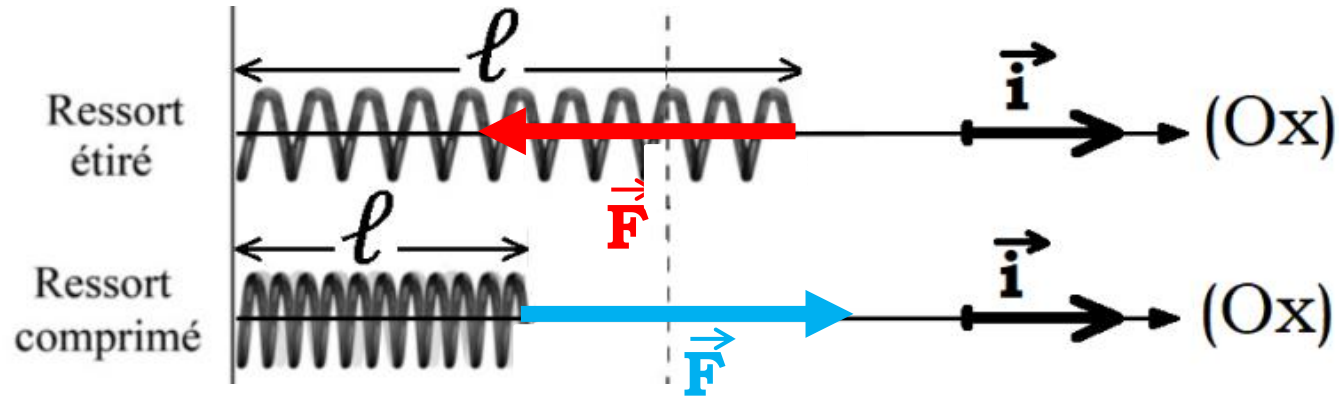
$\text{N} \quad \text{N.m}^{-1} \quad \text{m}$

Cohérence de la formule :

Ressort étiré : $l - l_0$ est de signe **positif** donc $\vec{F}$ et $\vec{i}$ sont de sens **opposé**.

Ressort comprimé : $l - l_0$ est de signe **négatif** donc $\vec{F}$ et $\vec{i}$ de **même** sens

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



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

$$\vec{F} = -k \times (\ell - \ell_0) \times \vec{i}$$

N N.m^{-1} m

Cohérence de la formule :

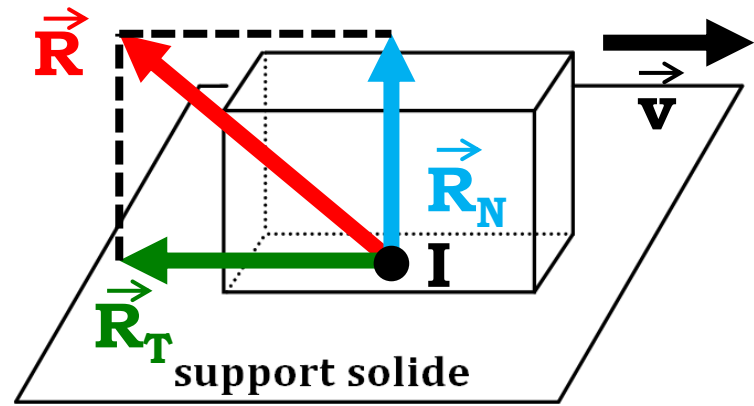
Ressort étiré : $\ell - \ell_0$ est de signe **positif** donc $\vec{F}$ et $\vec{i}$ sont de sens **opposé**.

Ressort comprimé : $\ell - \ell_0$ est de signe **négatif** donc $\vec{F}$ et $\vec{i}$ de **même** sens

d/ Action exercée par un support solide

$\vec{R}$ = Réaction du support

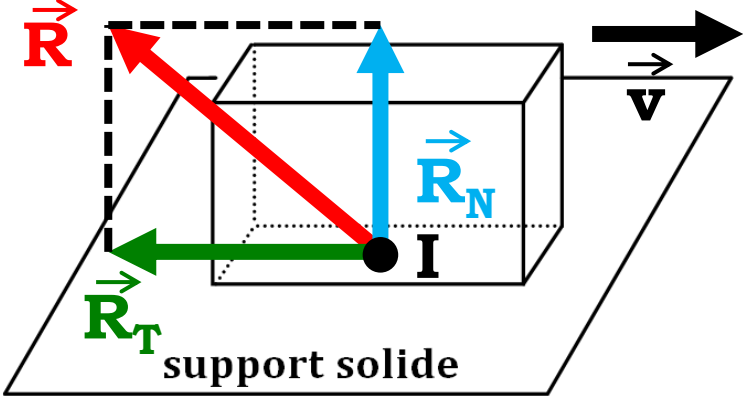
➔ 2 composantes : $\vec{R}_N$ et $\vec{R}_T$



d/ Action exercée par un support solide

$\vec{R}$ = Réaction du support

➔ 2 composantes : $\vec{R}_N$ et $\vec{R}_T$



$\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{R}_T$

- Avec :
- $\vec{R}_N$: réaction **NORMALE**, orthogonale au support et orientée du support vers le système. **Cette composante n'est jamais nulle !**
 - $\vec{R}_T$: réaction **TANGENTIELLE** (aussi appelée « **frottements** »), parallèle au support et opposée au déplacement du système. **Cette composante peut être nulle** si la surface du support et celle du système sont parfaitement lisses. Dans ce cas, $\vec{R} = \vec{R}_N$

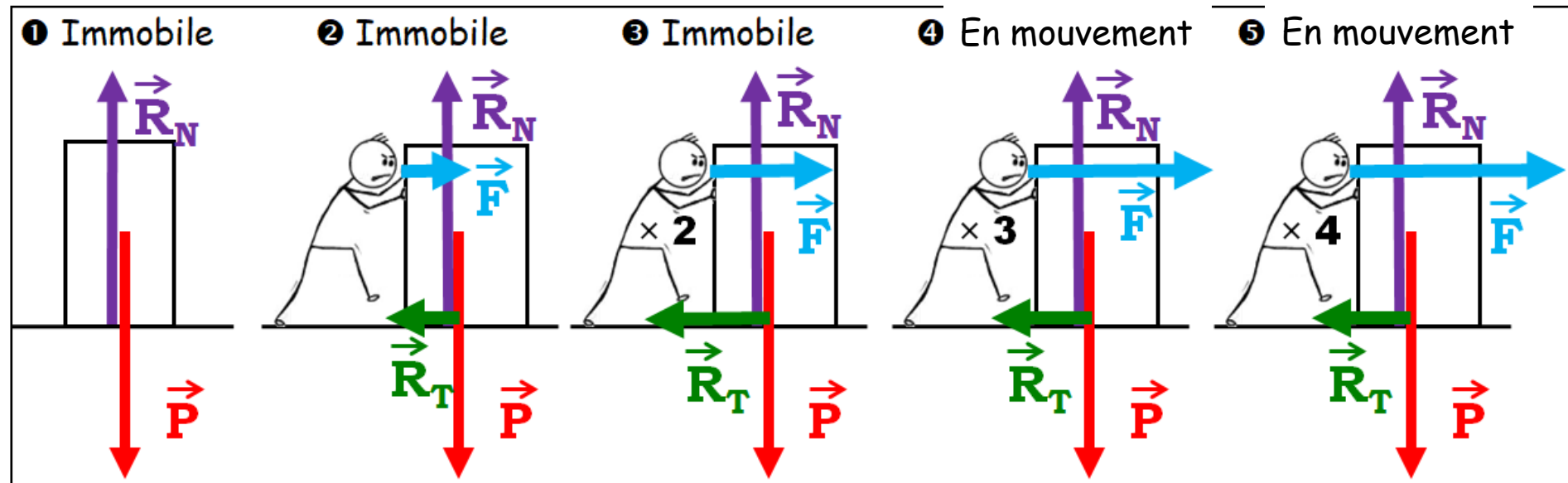


Raisonner soit sur $\vec{R}$, soit sur $\vec{R}_N + \vec{R}_T$, mais pas sur $\vec{R} + \vec{R}_N + \vec{R}_T$...

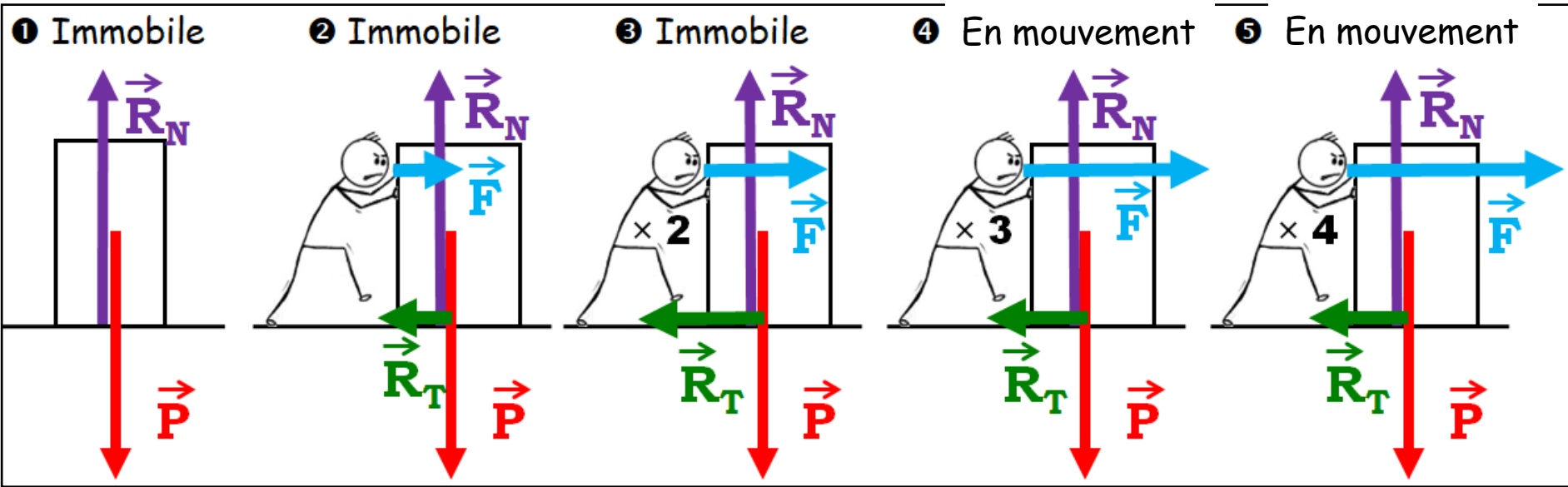
d/ Action exercée par un support solide

$$\vec{R} = \vec{R}_N + \vec{R}_T$$

- Avec :
- $\vec{R}_N$: réaction **NORMALE**, orthogonale au support et orientée du support vers le système. **Cette composante n'est jamais nulle !**
 - $\vec{R}_T$: réaction **TANGENTIELLE** (aussi appelée « frottements »), parallèle au support et opposée au déplacement du système. **Cette composante peut être nulle** si la surface du support et celle du système sont parfaitement lisses. Dans ce cas, $\vec{R} = \vec{R}_N$



d/ Action exercée par un support solide



Lois empiriques de COULOMB

②-③ Frottement STATIQUE (sans glissement)	④-⑤ Frottement DYNAMIQUE (avec glissement)
$R_T < f_s \times R_N$ f_s : coefficient <i>statique</i> de frottement <u>Interprétation du terme $f_s \times R_N$:</u> C'est la plus grande valeur de R_T avant qu'il y ait mouvement	$R_T = f_D \times R_N$ f_D : coefficient <i>dynamique</i> de frottement  f_s et f_D sont sans dimension et souvent, $f = f_s \approx f_D$

Lois empiriques de COULOMB

②-③ Frottement **STATIQUE** (sans glissement)

$$R_T < f_s \times R_N$$

f_s : coefficient *statique* de frottement

Interprétation du terme $f_s \times R_N$:

C'est la **plus grande valeur** de R_T avant qu'il y ait mouvement

④-⑤ Frottement **DYNAMIQUE** (avec glissement)

$$R_T = f_D \times R_N$$

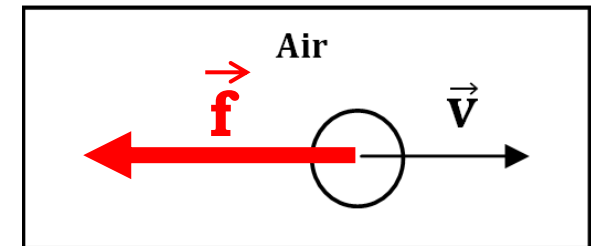
f_D : coefficient *dynamique* de frottement



f_s et f_D sont sans dimension et souvent, $f = f_s \approx f_D$

e/ Force de frottement fluide

A **faible vitesse**, la force de frottement fluide est dite « **linéaire en vitesse** » et peut se mettre sous la forme :



$$\vec{f} = -h \times \vec{v}$$

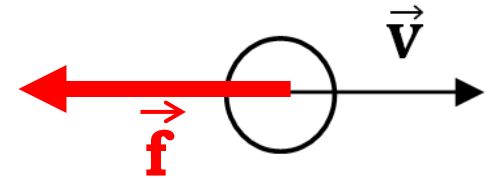
f = valeur de la force de frottement fluide (en **N**) ;
 v = vitesse relative de déplacement du système par rapport au fluide (en **m.s⁻¹**) ;

h = coefficient de frottement fluide (en **N.s.m⁻¹** ou **kg.s⁻¹**) qui dépend par exemple de la nature du fluide, des dimensions du solide ...

$$\vec{f} = -h \times \vec{v}$$

f = valeur de la force de frottement fluide (en **N**) ;
 v = vitesse relative de déplacement du système par rapport au fluide (en **m.s⁻¹**) ;

h = coefficient de frottement fluide (en **N.s.m⁻¹** ou **kg.s⁻¹**) qui dépend par exemple de la nature du fluide, des dimensions du solide ...



II- Les Lois de Newton

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

a/ Enoncé

Dans un *référentiel galiléen*, un *point matériel isolé* (sur lequel n'agit aucune force), est **IMMOBILE** ou en **TRANSLATION RECTILIGNE UNIFORME**.

➔ Les points matériels concernés :

Systèmes ISOLES ou PSEUDO-ISOLES



$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

➔ Les référentiels concernés :

Référentiels GALILEENS

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

a/ Enoncé

Dans un *référentiel galiléen*, un *point matériel isolé* (sur lequel n'agit aucune force), est **IMMOBILE** ou en **TRANSLATION RECTILIGNE UNIFORME**.

➔ Les points matériels concernés :

Systèmes ISOLES ou PSEUDO-ISOLES



$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

➔ Les référentiels concernés :

Référentiels GALILEENS

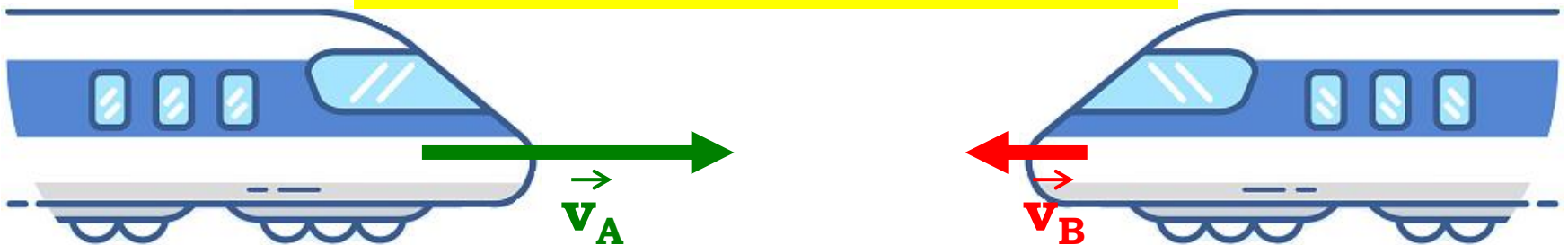
Le référentiel terrestre : Il est galiléen sur une **durée d'étude négligeable devant 24 h** (pour ne pas tenir compte de la rotation de la Terre sur elle-même).

Le référentiel géocentrique : Il est galiléen sur une **durée d'étude négligeable devant 1 année** (pour ne pas tenir compte de la révolution de la Terre autour du Soleil).

Le référentiel héliocentrique : Il est **galiléen en bonne approximation quelle que soit la durée**. (la période de révolution du Soleil dans la Galaxie vaut ≈ 250 millions années)

- # Le référentiel terrestre : Il est 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 géocentrique : Il est galiléen sur une **durée d'étude négligeable devant 1 année** (pour ne pas tenir compte de la révolution de la Terre autour du Soleil)..
- # Le référentiel héliocentrique : Il est **galiléen en bonne approximation quelle que soit la durée**. (la période de révolution du Soleil dans la Galaxie vaut ≈ 250 millions années)
- # Le référentiel de Copernic : c'est le référentiel galiléen de base !
 - Origine du repère d'espace : le centre de masse du Système Solaire ;
 - Axes : 3 axes orthonormés pointés vers 3 étoiles fixes.

D'autres référentiels **GALILEENS** ?



Dans le référentiel terrestre : $\vec{v}_A = 100 \text{ km.h}^{-1}$ et $\vec{v}_B = 20 \text{ km.h}^{-1}$

Le référentiel de COPERNIC : C'est le référentiel galiléen de base !

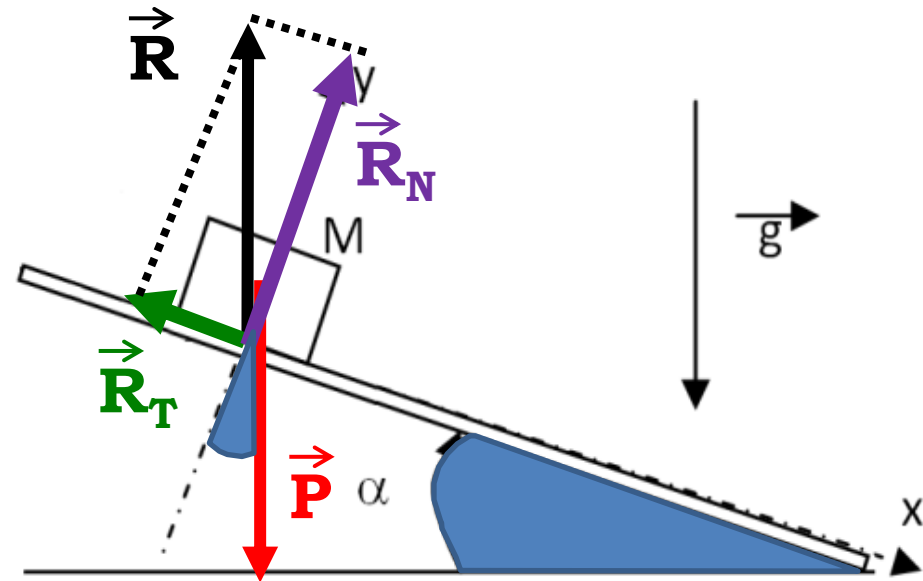
- Origine du repère d'espace : le centre de masse du Système Solaire ;
- Axes : 3 axes orthonormés pointés vers 3 étoiles fixes.

D'autres référentiels GALILEENS ?

☛ Propriété : Tout référentiel en translation rectiligne et uniforme par rapport à un référentiel galiléen est lui-même galiléen.

b/ Applications

✂ Application 4 : Un bloc de pierre de masse $m = 100 \text{ kg}$ est immobile sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 30,0^\circ$ par rapport à l'horizontal. Déterminer la norme de la réaction normale et de la réaction tangentielle du support sur cette pierre.



☛ Système : le bloc de pierre

☛ Référentiel : terrestre (supposé galiléen)

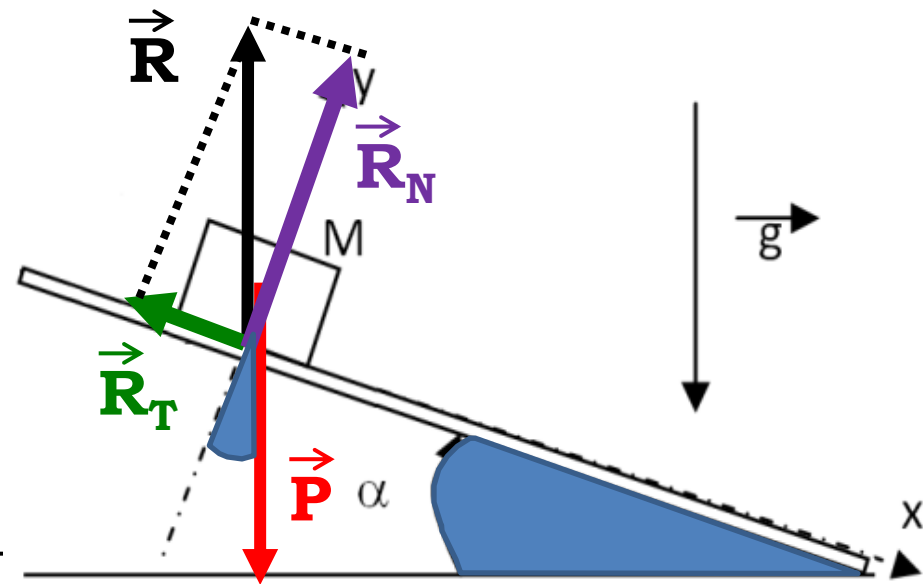
☛ Bilan des forces :

- le poids $\vec{P}$ du système
- la réaction normale $\vec{R}_N$ du support
- la réaction tangentielle $\vec{R}_T$ du support

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

✎ **Système** : le bloc de pierre

✎ **Référentiel** : terrestre (supposé galiléen)



✎ **Bilan des forces** :

- le poids $\vec{P}$ du système
- la réaction normale $\vec{R}_N$ du support
- la réaction tangentielle $\vec{R}_T$ du support

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

$$\vec{P} \begin{cases} P_x = P \cdot \sin(\alpha) \\ P_y = -P \cdot \cos(\alpha) \end{cases} \quad \vec{R}_N \begin{cases} R_{Nx} = 0 \\ R_{Ny} = R_N \end{cases} \quad \vec{R}_T \begin{cases} R_{Tx} = -R_T \\ R_{Ty} = 0 \end{cases}$$

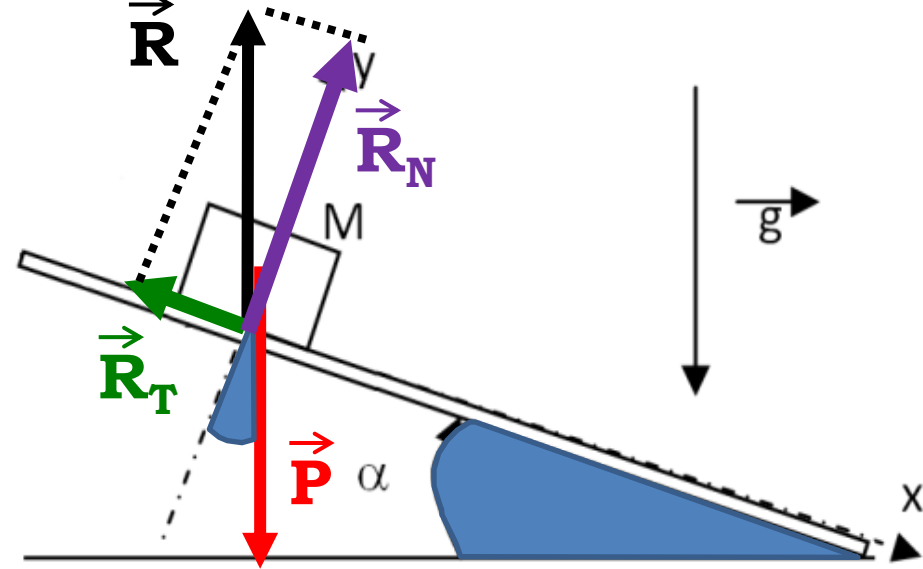
✎ **Expression vectorielle de la 1^{ère} Loi de Newton** : $\vec{P} + \vec{R}_N + \vec{R}_T = \vec{0}$

✎ **Projection de la 1^{ère} Loi de Newton sur l'axe (Ox)** : $P_x + R_{Nx} + R_{Tx} = 0$

$$\Leftrightarrow P \cdot \sin(\alpha) + 0 - R_T = 0 \quad \Leftrightarrow \underline{\underline{R_T = P \cdot \sin(\alpha)}}$$

✎ **Application 5** : Un bloc de pierre de masse $m = 100 \text{ kg}$ est immobile sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 30,0^\circ$ par rapport à l'horizontal.

Déterminer la norme de la réaction normale et de la réaction tangentielle du support sur cette pierre.



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

$$\begin{array}{l} \vec{P} \begin{cases} P_x = P.\sin(\alpha) \\ P_y = -P.\cos(\alpha) \end{cases} \quad \vec{R}_N \begin{cases} R_{Nx} = 0 \\ R_{Ny} = R_N \end{cases} \quad \vec{R}_T \begin{cases} R_{Tx} = -R_T \\ R_{Ty} = 0 \end{cases} \end{array}$$

✎ Expression vectorielle de la 1^{ère} Loi de Newton : $\vec{P} + \vec{R}_N + \vec{R}_T = \vec{0}$

✎ Projection de la 1^{ère} Loi de Newton sur l'axe (Ox) : $P_x + R_{Nx} + R_{Tx} = 0$

$$\Leftrightarrow P.\sin(\alpha) + 0 - R_T = 0 \quad \Leftrightarrow \underline{R_T = P.\sin(\alpha)}$$

✎ Projection de la 1^{ère} Loi de Newton sur l'axe (Oy) : $P_y + R_{Ny} + R_{Ty} = 0$

$$\Leftrightarrow -P.\cos(\alpha) + R_N + 0 = 0 \quad \Leftrightarrow \underline{R_N = P.\cos(\alpha)}$$

• Coordonnées de vecteurs forces dans le repère d'axes (Ox,Oy) :

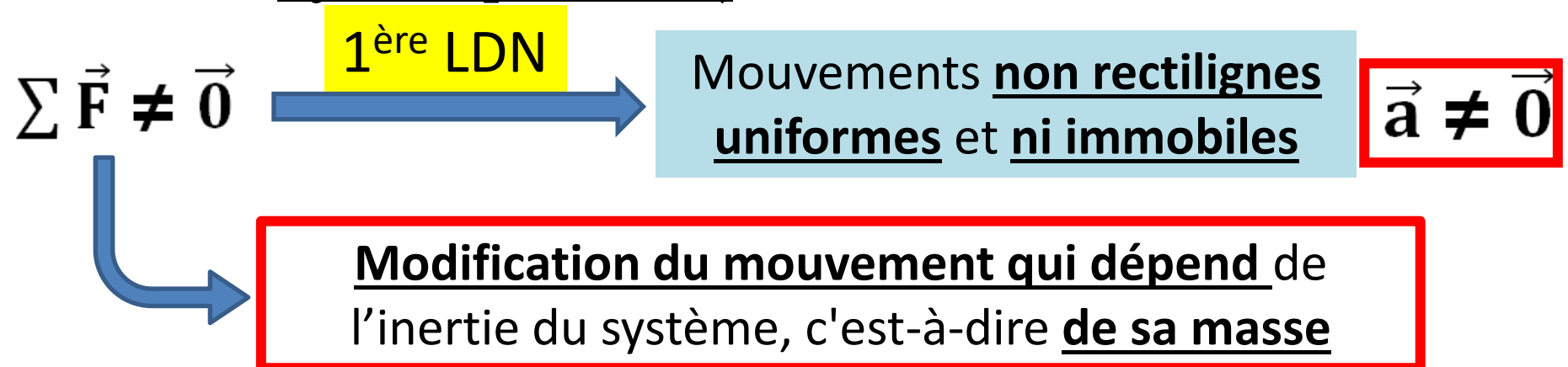
$$\begin{aligned} \vec{P} & \begin{cases} P_x = P.\sin(\alpha) \\ P_y = -P.\cos(\alpha) \end{cases} & \vec{R}_N & \begin{cases} R_{Nx} = 0 \\ R_{Ny} = R_N \end{cases} & \vec{R}_T & \begin{cases} R_{Tx} = -R_T \\ R_{Ty} = 0 \end{cases} \end{aligned}$$

• Expression vectorielle de la 1^{ère} Loi de Newton : $\vec{P} + \vec{R}_N + \vec{R}_T = \vec{0}$

• Projection de la 1^{ère} Loi de Newton sur l'axe (Ox) : $P_x + R_{Nx} + R_{Tx} = 0$
 $\Leftrightarrow P.\sin(\alpha) + 0 - R_T = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \underline{R_T = P.\sin(\alpha)}$

• Projection de la 1^{ère} Loi de Newton sur l'axe (Oy) : $P_y + R_{Ny} + R_{Ty} = 0$
 $\Leftrightarrow -P.\cos(\alpha) + R_N + 0 = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \underline{R_N = P.\cos(\alpha)}$

2) 2^{ème} Loi de Newton (principe fondamental de la dynamique - PFD)



- ☛ Projection de la 1^{ère} Loi de Newton sur l'axe (Ox) : $\mathbf{P}_x + \mathbf{R}_{Nx} + \mathbf{R}_{Tx} = 0$
 $\Leftrightarrow \mathbf{P}.\sin(\alpha) + 0 - \mathbf{R}_T = 0 \Leftrightarrow \underline{\underline{\mathbf{R}_T = \mathbf{P}.\sin(\alpha)}}$
- ☛ Projection de la 1^{ère} Loi de Newton sur l'axe (Oy) : $\mathbf{P}_y + \mathbf{R}_{Ny} + \mathbf{R}_{Ty} = 0$
 $\Leftrightarrow -\mathbf{P}.\cos(\alpha) + \mathbf{R}_N + 0 = 0 \Leftrightarrow \underline{\underline{\mathbf{R}_N = \mathbf{P}.\cos(\alpha)}}$

2) 2^{ème} Loi de Newton (principe fondamental de la dynamique - PFD)

a/ Enoncés

- ☛ Enoncé général : Dans un *référentiel galiléen*, la **RESULTANTE** (= somme) **des forces extérieures** subies par un point matériel de *masse m* est égale à la DERIVEE par rapport au temps de son vecteur QUANTITE DE MOUVEMENT

$$\sum \vec{\mathbf{F}}_{\text{ext}} = \frac{d\vec{\mathbf{p}}}{dt}$$

Annotations:
 - $\sum$ is labeled with **N** (Newton)
 - $\vec{\mathbf{F}}_{\text{ext}}$ is labeled with **kg.m.s⁻¹**
 - $\vec{\mathbf{p}}$ is labeled with **s** (second)
 - $\frac{d}{dt}$ is labeled with **s** (second)

Et pour un système fermé ?

- ☛ Enoncé simplifié :

$$\frac{d\vec{\mathbf{p}}}{dt} = \frac{d(\mathbf{m} \times \vec{\mathbf{v}})}{dt} = \mathbf{m} \times \frac{d(\vec{\mathbf{v}})}{dt} + \frac{d(\mathbf{m})}{dt} \times \vec{\mathbf{v}}$$

2) 2^{ème} Loi de Newton (principe fondamental de la dynamique - PFD)

a/ Enoncés

☛ Enoncé général : Dans un *référentiel galiléen*, la **RESULTANTE** (= somme) **des forces extérieures** subies par un point matériel de *masse m* est égale à la **DERIVEE** par rapport au temps de son vecteur **QUANTITE DE MOUVEMENT**

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Annotations: $\vec{F}_{\text{ext}}$ is labeled 'N' (Newton); $\frac{d\vec{p}}{dt}$ is labeled 'kg.m.s⁻¹' (SI unit of momentum) and 's' (symbol for time).

Et pour un système fermé ?

☛ Enoncé simplifié :

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m \times \vec{v})}{dt} = m \times \underbrace{\frac{d(\vec{v})}{dt}}_{\vec{a}} + \underbrace{\frac{d(m)}{dt}}_{0 \text{ car } m = \text{Constante}} \times \vec{v}$$

Annotations: $\sum \vec{F}_{\text{ext}}$ is labeled 'N'; m is labeled 'kg'; $\vec{a}$ is labeled 'm.s⁻²'.



Autre unité de la force : le kg.m.s⁻²

Et pour un système fermé ?

☛ Enoncé simplifié :

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m \times \vec{v})}{dt} = m \times \underbrace{\frac{d(\vec{v})}{dt}}_{\vec{a}} + \underbrace{\frac{d(m)}{dt}}_0 \times \vec{v}$$

$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \times \vec{a}$

0 car $m = \text{Constante}$

N
kg
 m.s^{-2}



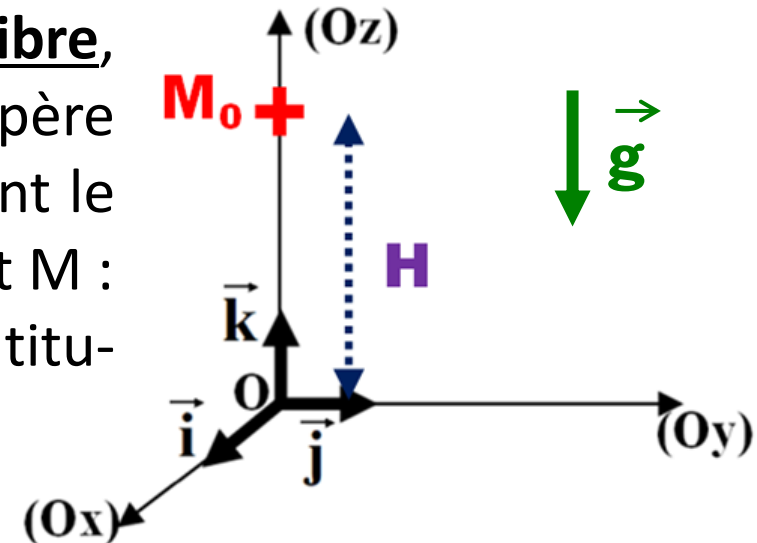
Autre unité de la force : le kg.m.s^{-2}

b/ Applications

Chute libre sans vitesse initiale dans un champ de pesanteur uniforme

Bille de masse $m = 25,0 \text{ g}$, 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. Le point M :

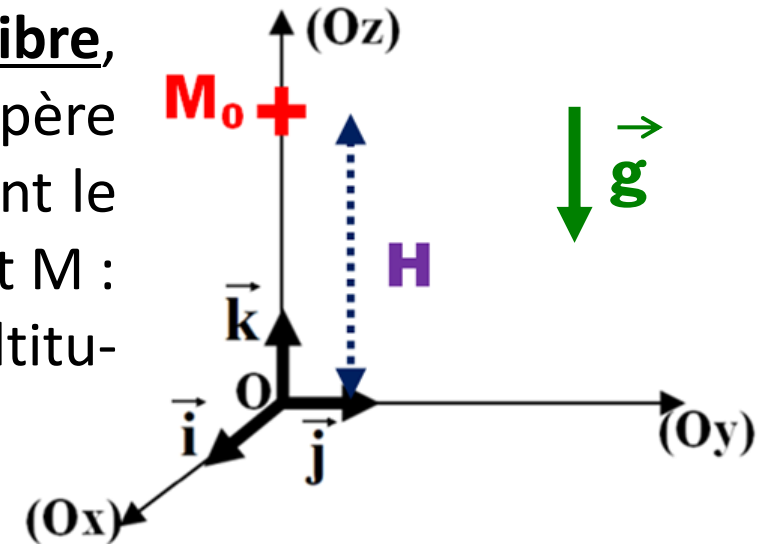
- se trouve initialement au point M_0 à une altitude $H = 10,0 \text{ m}$ du sol ;
- est lâché sans vitesse initiale ;
- Champ de pesanteur uniforme $\vec{g}$ de norme $9,8 \text{ m.s}^{-2}$.



Chute libre sans vitesse initiale dans un champ de pesanteur uniforme

Bille de masse $m = 25,0 \text{ g}$, 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. Le point M :

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



- ☛ Système : La bille
- ☛ Référentiel : Terrestre (supposé galiléen)
- ☛ Bilan des forces : le poids $\vec{P}$ du système uniquement (car CHUTE LIBRE)
- ☛ PFD (2^{ème} Loi de Newton) :

Le système ayant une masse m constante, la 2^{ème} LDN s'écrit :

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

- ☛ Projection du PFD : On projette uniquement sur (Oz) car la trajectoire a uniquement lieu sur cet axe

$$a_z = g_z = -g \quad \xrightarrow[\text{pour avoir } v_z]{\text{On intègre } a_z} \quad v_z = -g.t + C_1$$

Or, $v_z(t = 0) = 0 = -g \times 0 + C_1 = C_1$

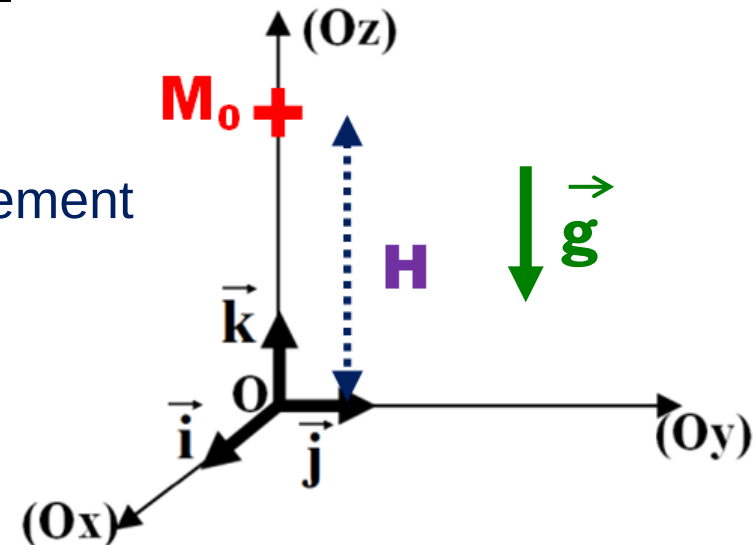
Chute libre sans vitesse initiale dans un champ de pesanteur uniforme

- ☛ Système : La bille
- ☛ Référentiel : Terrestre (supposé galiléen)
- ☛ Bilan des forces : le poids $\vec{P}$ du système uniquement (car **CHUTE LIBRE**)

- ☛ PFD (2^{ème} Loi de Newton) :

Le système ayant une masse m constante, la 2^{ème} LDN s'écrit : $\vec{P} = m \times \vec{a}$

$$\Leftrightarrow m \times \vec{g} = m \times \vec{a} \quad \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{g}$$



- ☛ Projection du PFD : On projette uniquement sur (Oz) car la trajectoire a uniquement lieu sur cet axe

$$a_z = g_z = -g$$

On intègre a_z
pour avoir v_z

$$v_z = -g.t + C_1$$

$$\text{Or, } v_z(t=0) = 0 = -g \times 0 + C_1 = C_1$$

$$\text{Donc } v_z = -g.t$$

On intègre v_z
pour avoir z

$$z = -g.t^2/2 + C_2$$

$$\text{Or, } z(t=0) = H = -g \times 0^2/2 + C_2 = C_2$$

$$\text{Donc } z = -g.t^2 / 2 + H$$

- ☛ Durée de la chute :

On cherche la valeur de t correspondant à $z = 0 \quad \Leftrightarrow \quad 0 = -g.t^2 / 2 + H$

☛ Projection du PFD : On projette uniquement sur **(Oz)** car la trajectoire a uniquement lieu sur cet axe

$a_z = g_z = -g$ On intègre a_z
pour avoir v_z $\rightarrow v_z = -g.t + C_1$ avec $C_1 = v_{z0} = 0$
Or, $v_z(t = 0) = 0 = -g \times 0 + C_1 = C_1$

Donc $v_z = -g.t$ On intègre v_z
pour avoir z $\rightarrow z = -g.t^2/2 + C_2$
Or, $z(t = 0) = H = -g \times 0^2/2 + C_2 = C_2$
Donc $z = -g.t^2 / 2 + H$

☛ Durée de la chute :

On cherche la valeur de t correspondant à $z = 0 \Leftrightarrow 0 = -g.t^2 / 2 + H$

$t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$

AN $\rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \times 10}{9,8}}$ Soit $t = 1,4 \text{ s}$

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

Même situation que précédemment avec une **boule de papier**

☛ Système : La boule de papier ☛ Référentiel : Terrestre (supposé galiléen)

☛ Bilan des forces : - le poids $\vec{P}$ du système
- La force de frottement de l'air : $\vec{f} = -h \times \vec{v}$

☛ Durée de la chute : On cherche la valeur de t correspondant à $z = 0$

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$\underline{AN} \rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \times 10}{9,8}}$$

$$\Leftrightarrow 0 = -g.t^2 / 2 + H$$

Soit $t = 1,4 \text{ s}$

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

☛ Système : La boule de papier ☛ Référentiel : Terrestre (supposé galiléen)

☛ Bilan des forces : - le poids $\vec{P}$ du système

- La force de frottement de l'air : $\vec{f} = -h \times \vec{v}$

☛ PFD (2^{ème} Loi de Newton) :

Le système ayant une masse m constante, la 2^{ème} LDN s'écrit :

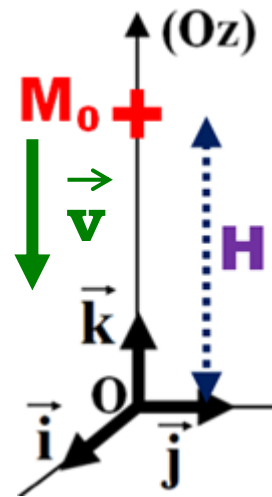
$$\vec{P} + \vec{f} = m \times \vec{a} \quad \Leftrightarrow \quad m \times \vec{g} - h \times \vec{v} = m \times \vec{a}$$

$$\Leftrightarrow \quad \vec{g} - \frac{h}{m} \times \vec{v} = \vec{a}$$

☛ Projection du PFD :

On projette uniquement sur **(Oz)** car la trajectoire a uniquement lieu sur cet axe

$$a_z = g_z - \frac{h}{m} \times v_z \quad \Leftrightarrow \quad \frac{dv_z}{dt} = -g - \frac{h}{m} \times v_z$$



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

☛ Système : La boule de papier ☛ Référentiel : Terrestre (supposé galiléen)

☛ Bilan des forces : - le poids $\vec{P}$ du système

- La force de frottement de l'air : $\vec{f} = -h \times \vec{v}$

☛ PFD (2^{ème} Loi de Newton) :

Le système ayant une masse m constante, la 2^{ème} LDN s'écrit :

$$\vec{P} + \vec{f} = m \times \vec{a} \quad \Leftrightarrow \quad m \times \vec{g} - h \times \vec{v} = m \times \vec{a}$$

$$\Leftrightarrow \quad \vec{g} - \frac{h}{m} \times \vec{v} = \vec{a}$$

☛ Projection du PFD :

On projette uniquement sur **(Oz)** car la trajectoire a uniquement lieu sur cet axe

$$a_z = g_z - \frac{h}{m} \times v_z \quad \Leftrightarrow \quad \frac{dv_z}{dt} = -g - \frac{h}{m} \times v_z$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{dv_z}{dt} + \frac{h}{m} \times v_z = -g$$

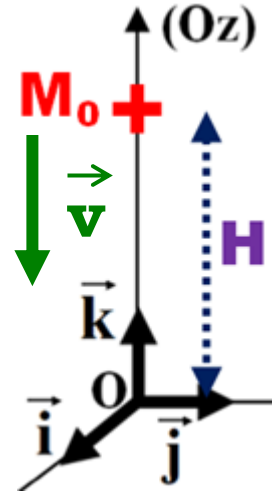
Equation
différentielle
vérifiée par v_z

☛ Constante de temps τ caractéristique du mouvement :

On pose $\tau = \frac{m}{h}$

s kg $kg.s^{-1}$

Régime permanent atteint au bout
d'environ **5 τ** .



☛ Projection du PFD : $\mathbf{a}_Z = \mathbf{g}_Z - \frac{h}{m} \times \mathbf{v}_Z \Leftrightarrow \frac{d\mathbf{v}_Z}{dt} = -\mathbf{g} - \frac{h}{m} \times \mathbf{v}_Z$

$$\Leftrightarrow \frac{d\mathbf{v}_Z}{dt} + \frac{h}{m} \times \mathbf{v}_Z = -\mathbf{g}$$

Equation
différentielle
vérifiée par $\mathbf{v}_Z$

☛ Constante de temps τ caractéristique du mouvement :

On pose $\tau = \frac{m}{h}$

m : kg
 h : kg.s^{-1}

Régime permanent atteint
au bout d'environ **5 τ** .

☛ Résolution de l'équation différentielle :

Solution particulière : $\mathbf{v}_{Z1} = -\frac{mg}{h} - \frac{h}{m} \times t$

Solution de l'équation homogène : $\mathbf{v}_{Z2} = A \times e^{-\frac{h}{m} \times t}$

Solution générale : $\mathbf{v}_Z = \mathbf{v}_{Z1} + \mathbf{v}_{Z2}$ Soit $\mathbf{v}_Z = -\frac{mg}{h} + A \times e^{-\frac{h}{m} \times t}$

☛ Utilisation des conditions initiales :

$\mathbf{v}_Z(t=0) = 0$, donc $0 = -\frac{mg}{h} + A \times e^{-\frac{h}{m} \times 0} = -\frac{mg}{h} + A \Rightarrow A = \frac{mg}{h}$

☛ Résolution de l'équation différentielle :

Solution particulière : $\mathbf{v}_{z1} = - \frac{mg}{h} - \frac{h}{m} \times t$

Solution de l'équation homogène : $\mathbf{v}_{z2} = A \times e^{-\frac{h}{m} \times t}$

Solution générale : $\mathbf{v}_z = \mathbf{v}_{z1} + \mathbf{v}_{z2}$ Soit $\mathbf{v}_z = - \frac{mg}{h} + A \times e^{-\frac{h}{m} \times t}$

☛ Utilisation des conditions initiales :

$\mathbf{v}_z(t=0) = 0$, donc $0 = - \frac{mg}{h} + A \times e^{-\frac{h}{m} \times 0} = - \frac{mg}{h} + A \Rightarrow \boxed{A = \frac{mg}{h}}$

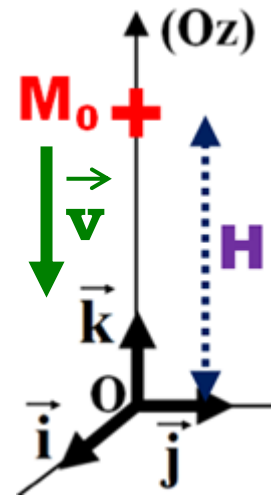
☛ Expressions finales de $\mathbf{v}_z$ et de $\mathbf{v}$:

$\mathbf{v}_z = \frac{mg}{h} \times \left(-1 + e^{-\frac{h}{m} \times t} \right)$

$\mathbf{v}_z = -\mathbf{v}$ donc $\mathbf{v} = -\mathbf{v}_z \Rightarrow \mathbf{v} = \frac{mg}{h} \times \left(1 - e^{-\frac{h}{m} \times t} \right)$

☛ Evolution de la vitesse $\mathbf{v}$ au cours du temps :

$\lim_{t \rightarrow +\infty} (v) = \frac{mg}{h} = \text{Vitesse limite } \mathbf{V}_{LIM}$



☛ Expressions finales de v_z et de v :

$$\# v_z = \frac{mg}{h} \times \left(-1 + e^{-\frac{h}{m} \times t} \right)$$

$$\frac{dv_z}{dt} + \frac{h}{m} \times v_z = -g$$

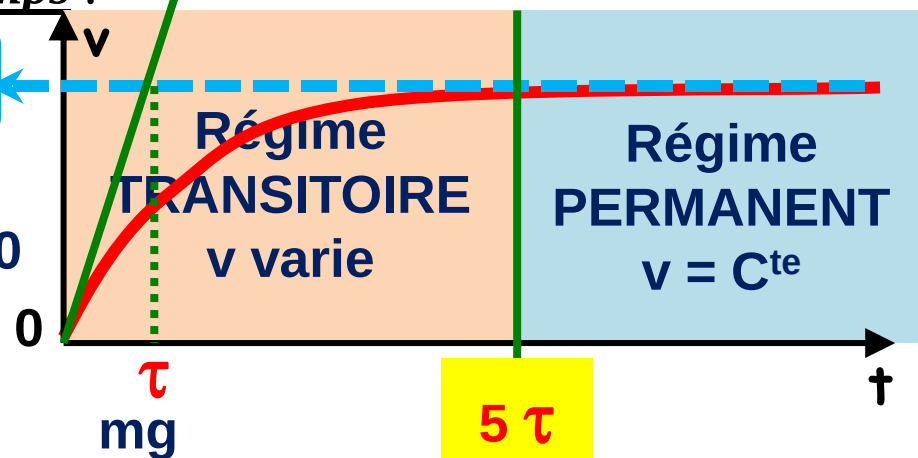
$$\# v_z = -v \text{ donc } v = -v_z \Rightarrow v = \frac{mg}{h} \times \left(1 - e^{-\frac{h}{m} \times t} \right)$$

☛ Evolution de la vitesse v au cours du temps :

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} (v) = \frac{mg}{h} = \text{Vitesse limite } \boxed{V_{LIM}}$$

On peut retrouver V_{LIM} en posant $\frac{dv_z}{dt} = 0$ dans l'équation différentielle :

$$0 + \frac{h}{m} \times v_{z,LIM} = -g \quad \text{donc } v_{z,LIM} = -\frac{mg}{h} = -v_{LIM}$$



☛ Expression de z en fonction du temps :

On intègre l'expression de v_z par rapport au temps ce qui donne :

$$z = \frac{mg}{h} \left(-t + \left(\frac{-m}{h} \right) e^{-\frac{h}{m} \times t} \right) + C_1$$

où C_1 = constante d'intégration obtenue avec la condition initiale sur z

$$0 + \frac{h}{m} \times v_{z,LIM} = -g \quad \text{donc } v_{z,LIM} = -\frac{mg}{h} = -v_{LIM}$$

☛ **Expression de z en fonction du temps** : On intègre l'expression de v_z par rapport au temps ce qui donne :

$$z = \frac{mg}{h} \left(-t + \left(\frac{-m}{h} \right) e^{-\frac{h}{m} \times t} \right) + C_1 \quad \text{où } C_1 = \text{constante d'intégration obtenue avec la condition initiale sur } z$$

Or, $z(t=0) = H$, donc :

$$H = \frac{mg}{h} \left(-0 + \left(\frac{-m}{h} \right) e^{-\frac{h}{m} \times 0} \right) + C_1 \Leftrightarrow H = \frac{mg}{h} \left(\frac{-m}{h} \right) + C_1$$

$$\Leftrightarrow C_1 = \frac{m^2g}{h^2} + H \quad \text{Soit } z = \frac{mg}{h} \left(-t + \left(\frac{-m}{h} \right) e^{-\frac{h}{m} \times t} \right) + \frac{m^2g}{h^2} + H$$

☛ **Durée de la chute** :

Après avoir tracé le graphique $z = f(t)$, on lit :

$t = 3,7$ secondes pour $z = 0$

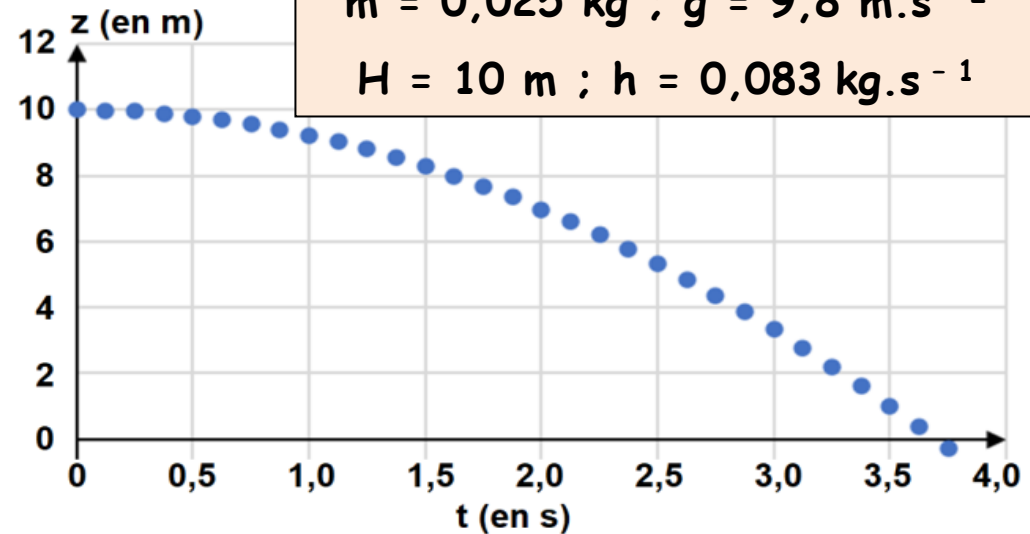
$$H = \frac{mg}{h} \left[-0 + \left(\frac{-m}{h} \right) e^{-\frac{h}{m} \times 0} \right] + C_1 \Leftrightarrow H = \frac{mg}{h} \left(\frac{-m}{h} \right) + C_1$$

$$\Leftrightarrow C_1 = \frac{m^2g}{h^2} + H \quad \text{Soit } z = \frac{mg}{h} \left[-t + \left(\frac{-m}{h} \right) e^{-\frac{h}{m} \times t} \right] + \frac{m^2g}{h^2} + H$$

☛ Durée de la chute :

Après avoir tracé le graphique $z = f(t)$, on lit :

$t = 3,7$ secondes pour $z = 0$



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

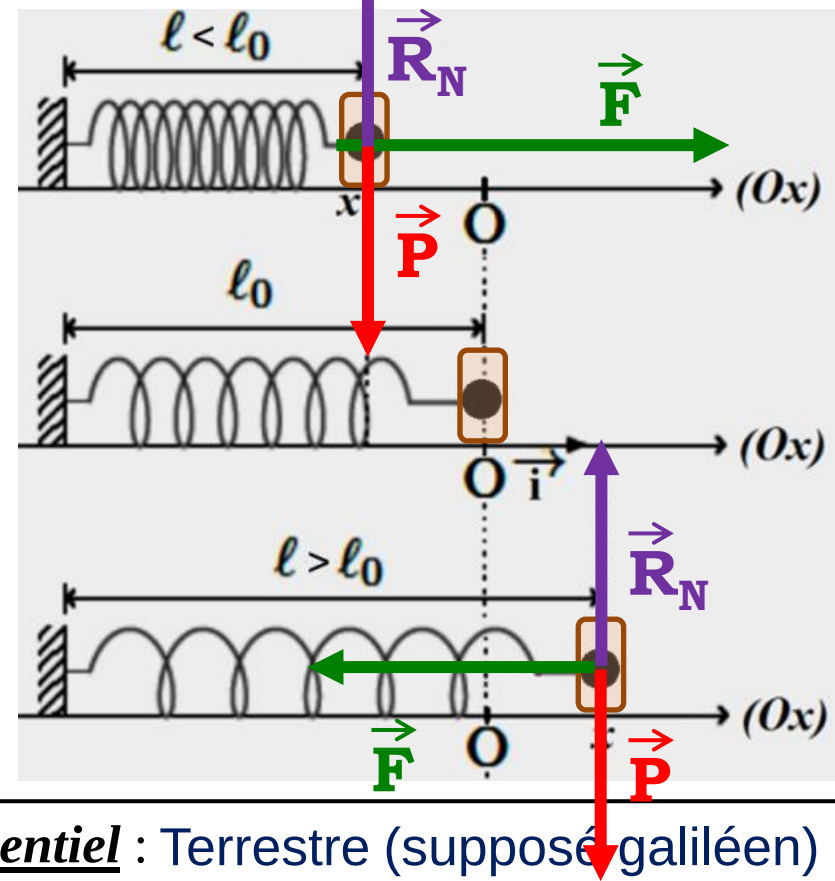
Modèle utilisé pour décrire de nombreux phénomènes ...

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

CADRE DE L'ETUDE :

- Régime libre
- Pas de frottements.
- Origine de l'axe (Ox) quand $L = L_0$
- Position initiale $x_m > 0$, sans vitesse initiale.

➡ On observe des oscillations du système de part et d'autre du point O



☛ Système : Le corps de masse m ☛ Référentiel : Terrestre (supposé galiléen)

☛ Bilan des forces : - Le Poids $\vec{P}$ du système
- La Réaction normale du support : $\vec{R}_N$
- La Force de rappel du ressort : $\vec{F}$

☛ PFD (2^{ème} Loi de Newton) :

Le système ayant une masse m constante, la 2^{ème} LDN s'écrit :

$$\vec{P} + \vec{R}_N + \vec{F} = m \times \vec{a}$$

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

- ☛ Systeme : Le corps de masse m
- ☛ Référentiel : Terrestre (supposé galiléen)
- ☛ Bilan des forces : - Le Poids $\vec{P}$ du système
 - La Réaction normale du support : $\vec{R}_N$
 - La Force de rappel du ressort : $\vec{F}$
- ☛ PFD (2^{ème} Loi de Newton) :

Le système ayant une masse m constante, la 2^{ème} LDN s'écrit :

$$\vec{P} + \vec{R}_N + \vec{F} = m \times \vec{a}$$

- ☛ Projection du PFD :

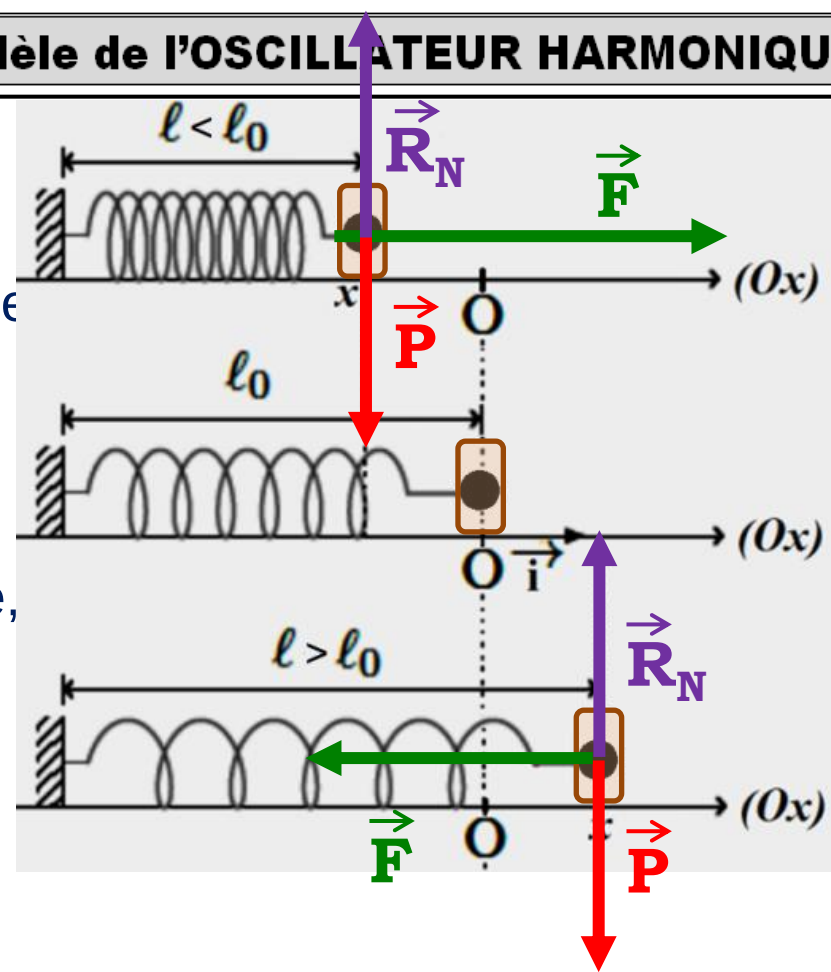
On projette sur (Ox) car la trajectoire a uniquement lieu sur cet axe :

$$P_x + R_{Nx} + F_x = m.a_x \Leftrightarrow 0 + 0 + F_x = m.a_x$$

$$\Leftrightarrow -k \times (L - L_0) = m.a_x \Leftrightarrow -k \times x = m.a_x$$

$$\Leftrightarrow -k \times x = m. \frac{d^2x}{dt^2} \Leftrightarrow \boxed{\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0}$$

Equation différentielle vérifiée par x



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

☛ Projection du PFD :

$$P_x + R_{Nx} + F_x = m.a_x \Leftrightarrow 0 + 0 + F_x = m.a_x$$

$$\Leftrightarrow -k \times (L - L_0) = m.a_x \Leftrightarrow -k \times x = m.a_x$$

$$\Leftrightarrow -k \times x = m. \frac{d^2x}{dt^2} \Leftrightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0$$

Equation différentielle
vérifiée par x

☛ Résolution de l'équation différentielle vérifiée par x :

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

$$x(t) = A.\cos(\omega_0.t) + B.\sin(\omega_0.t) \quad \text{ou (au choix)} \quad x(t) = A.\cos(\omega_0.t + \varphi)$$

avec : # $\omega_0 =$ **pulsation propre** (en rad.s^{-1}) ;

A et B deux constantes (en m) à déterminer à l'aide des conditions initiales ;

φ la **phase à l'origine** (en rad) à déterminer à l'aide des conditions initiales.

Ici, $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$

☛ Utilisation des conditions initiales :

$$\# \text{ A } t = 0, x = x_m \Leftrightarrow A.\cos(0) + B.\sin(0) = x_m \Rightarrow \underline{A = x_m}$$

☛ Résolution de l'équation différentielle vérifiée par x :

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

$$x(t) = A \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) + B \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) \quad \text{ou (au choix)} \quad x(t) = A \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi)$$

avec : # $\omega_0 = \text{pulsation propre}$ (en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$) ;

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 :

$$\# \underline{A \text{ t} = 0}, x = x_m \Leftrightarrow A \cdot \cos(0) + B \cdot \sin(0) = x_m \Rightarrow \underline{A = x_m}$$

Ici,

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\# \underline{A \text{ t} = 0}, v_x = 0 \quad \text{Or, } v_x = \frac{dx}{dt}$$

$$\text{soit, } v_x = -A \omega_0 \times \sin(\omega_0 \cdot t) + B \omega_0 \times \cos(\omega_0 \cdot t)$$

$$\text{Donc, } \underline{\text{à } t = 0}, \quad 0 = -A \omega_0 \times \sin(0) + B \omega_0 \times \cos(0)$$

$$\Leftrightarrow 0 = B \omega_0 \Rightarrow \underline{B = 0} \quad \text{car } \omega_0 \neq 0$$

$$\text{Finalement, } \underline{x(t) = x_m \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)}$$

☛ Utilisation des conditions initiales :

- $A t = 0$, $x = x_m \Leftrightarrow A.\cos(0) + B.\sin(0) = x_m \Rightarrow \underline{A = x_m}$

- $A t = 0$, $v_x = 0$ Or, $v_x = \frac{dx}{dt}$

soit, $v_x = -A \omega_0 \times \sin(\omega_0.t) + B \omega_0 \times \cos(\omega_0.t)$

Donc, à $t = 0$, $0 = -A \omega_0 \times \sin(0) + B \omega_0 \times \cos(0)$

$\Leftrightarrow 0 = B \omega_0 \Rightarrow \underline{B = 0}$ car $\omega_0 \neq 0$

Finalement, $x(t) = x_m.\cos(\omega_0.t)$

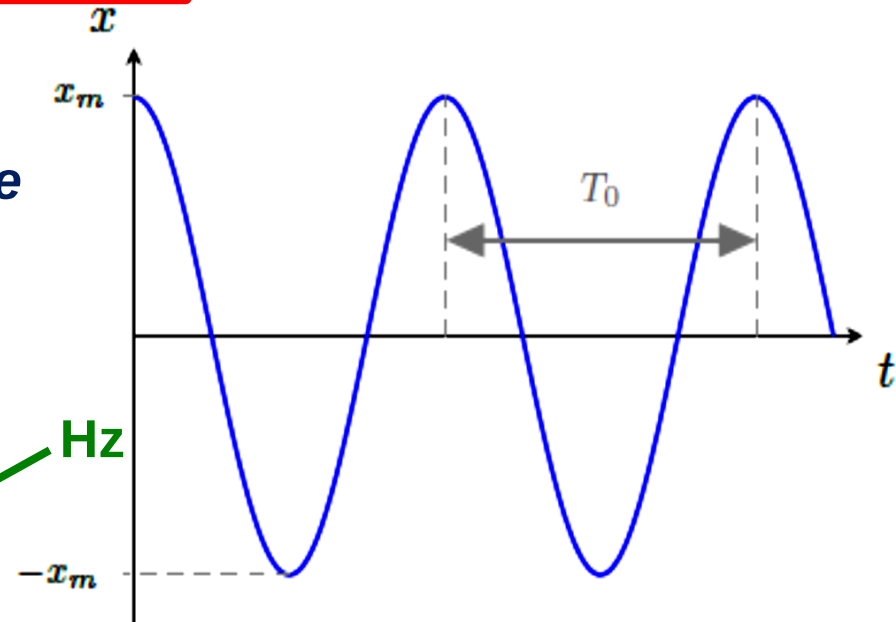
☛ Evolution de x au cours du temps :

Allure **périodique**, purement **sinusoïdale** correspondant aux oscillations autour de la position d'équilibre $x = 0$.

On montre que

$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{1}{f_0}$ Hz

s
rad.s⁻¹

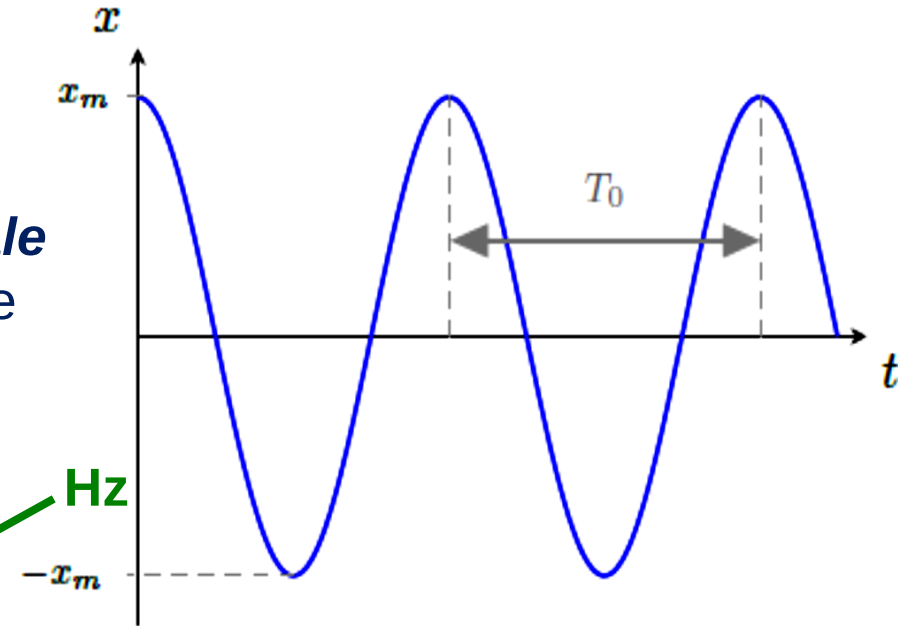


Et finalement, $A = \frac{x_m}{\cos(\varphi)} \Leftrightarrow A = \frac{x_m}{\cos(0)} \Leftrightarrow \underline{A = x_m}$

Donc $x(t) = x_m \cdot \cos(\omega_0 \times t)$

➤ Evolution de x au cours du temps :

Allure **périodique**, purement **sinusoïdale** correspondant aux oscillations autour de la position d'équilibre $x = 0$.



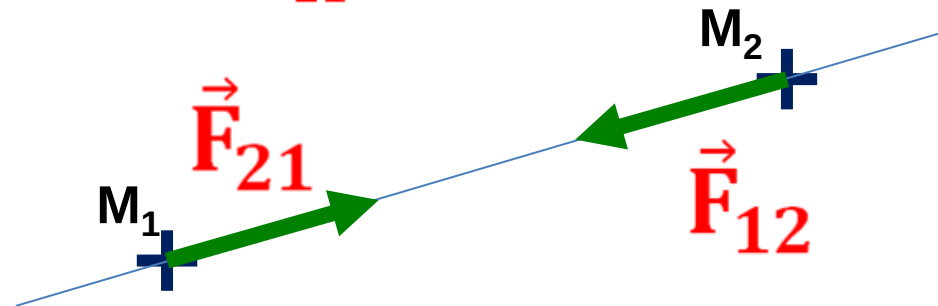
On montre que $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{1}{f_0}$

Annotations: ω_0 is labeled rad.s^{-1} and f_0 is labeled Hz .

3) 3^{ème} Loi de Newton (principe des actions réciproques)

➤ Enoncé : Quand deux corps M_1 et M_2 interagissent, la force $\vec{F}_{12}$ que le corps 1 exerce sur le corps 2, **est opposée à la force $\vec{F}_{21}$** qu'exerce le corps 2 sur le corps 1.

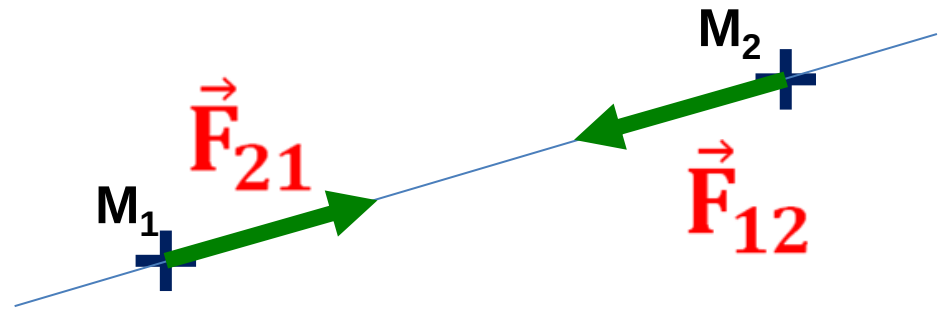
➤ Conséquence vectorielle : $\vec{F}_{12}$ et $\vec{F}_{21}$ sont **colinéaires**, de **même norme** et de **sens opposé**, la direction de ces forces étant la droite (M_1M_2) .



3) 3^{ème} Loi de Newton (principe des actions réciproques)

☛ Conséquence vectorielle :

Les forces $\vec{F}_{12}$ et $\vec{F}_{21}$ sont **colinéaires**, de **même norme** et de **sens opposé**, la direction de ces forces étant la droite (M_1M_2) .



Cette 3^{ème} 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 5** : Déterminer l'orientation de la réaction tangentielle exercée par le sol sur le pied pour qu'une personne marche sans glisser.

S'il veut avancer, **le pied exerce une force $\vec{F}_{12}$ sur le sol**, orientée vers le bas et vers l'arrière.

En retour, **le sol exerce une force $\vec{F}_{21}$ sur**

le pied telle que $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$ (3^{ème} LDN).

$\vec{F}_{21}$ est la **réaction du sol**, dont la composante tangentielle $\vec{R}_T$ est **orientée dans le sens du mouvement**.

