

- Lois de la dynamique -

Notions et contenus	Capacités exigibles
<ul style="list-style-type: none"> - Masse d'un système matériel. - Conservation de la masse d'un système matériel fermé. - Centre de masse d'un système matériel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Justifier qualitativement la position du centre de masse d'un système matériel, cette position étant donnée.
<ul style="list-style-type: none"> - Quantité de mouvement d'un système matériel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser la relation entre la quantité de mouvement d'un système matériel et la vitesse de son centre de masse.
<ul style="list-style-type: none"> - Première loi de Newton, principe d'inertie. - Référentiel galiléen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens. - Discuter qualitativement du caractère galiléen d'un référentiel donné pour le mouvement étudié.
<ul style="list-style-type: none"> - Modélisation d'une action mécanique par une force. Troisième loi de Newton. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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.
<ul style="list-style-type: none"> - Deuxième loi de Newton. - Équilibre d'un système. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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.
<p>Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modèle du champ de pesanteur uniforme au voisinage de la surface d'une planète. - Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme. 	<ul style="list-style-type: none"> - Établir et exploiter les équations horaires du mouvement. - Établir l'équation de la trajectoire en coordonnées cartésiennes.
<ul style="list-style-type: none"> - Modèle d'une force de frottement fluide linéaire en vitesse. - Influence de la résistance de l'air sur un mouvement de chute. Vitesse limite. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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...
<ul style="list-style-type: none"> - Modèle du frottement de glissement : lois de Coulomb. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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.
<ul style="list-style-type: none"> - Modèle linéaire de l'élasticité d'un matériau. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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.
<ul style="list-style-type: none"> - Exemple d'oscillateur harmonique : système masse-ressort en régime libre. - Pulsation et période propres. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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



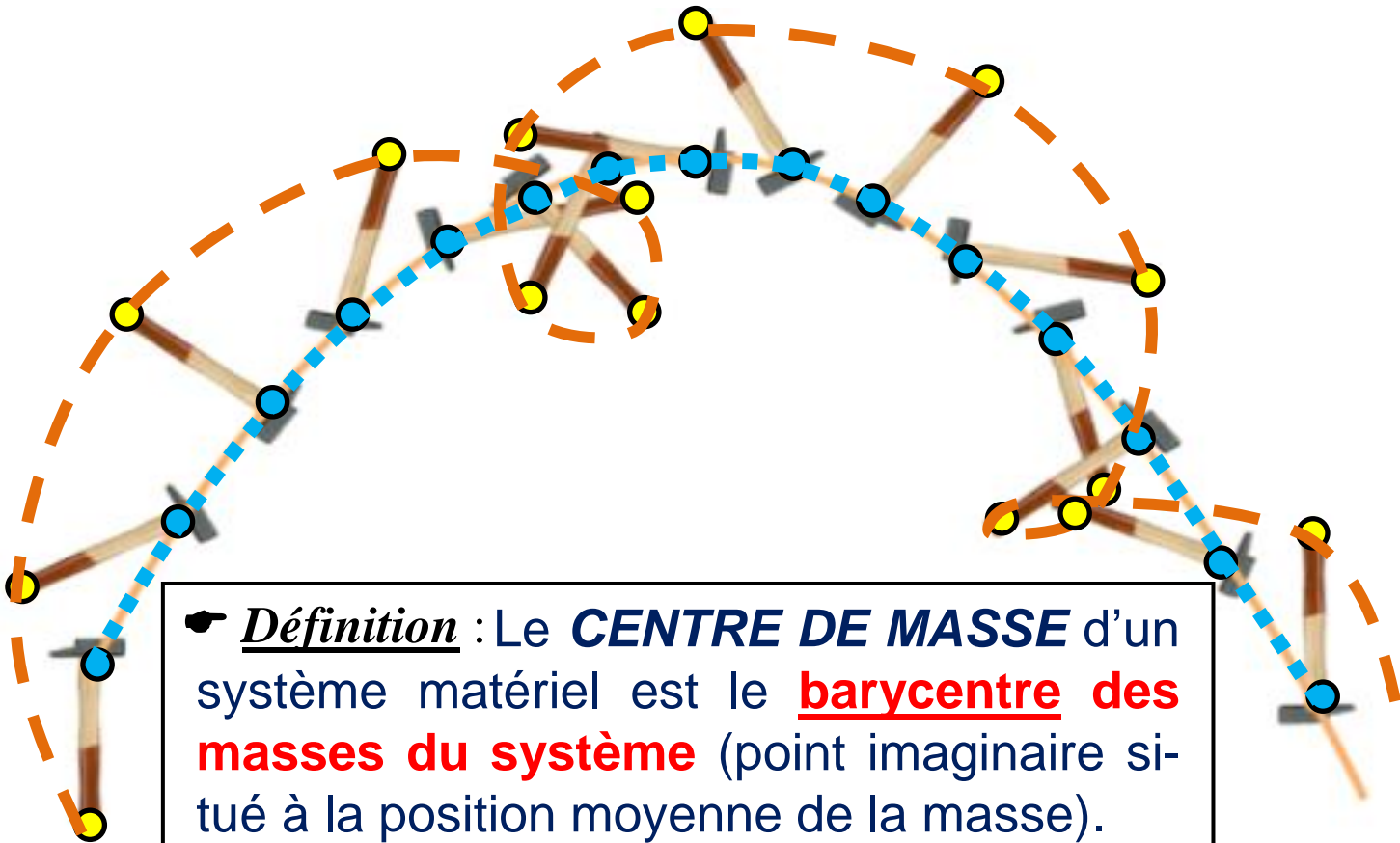
- ☛ **Définition** : La **MASSE** d'un corps est une **grandeur physique qui mesure sa capacité à résister à la mise en mouvement**.
- ☛ **Propriétés** :
 - Elle s'exprime en kilogramme (kg) et sa valeur ne dépend pas du référentiel.
 - Elle est d'autant plus grande que le corps est inerte (c'est-à-dire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

☛ 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).
 - Elle est **constante** pour un système **fermé**.



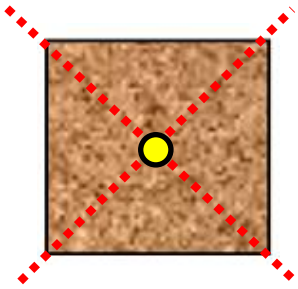
☛ Définition : Le **CENTRE DE MASSE** d'un système matériel est le **barycentre des masses du système** (point imaginaire situé à la position moyenne de la masse).

☛ **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).

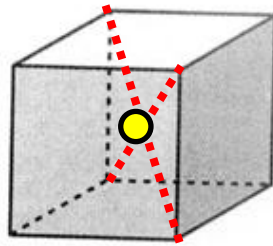


CENTRE DE MASSE = CENTRE D'INERTIE \approx CENTRE DE GRAVITE.

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



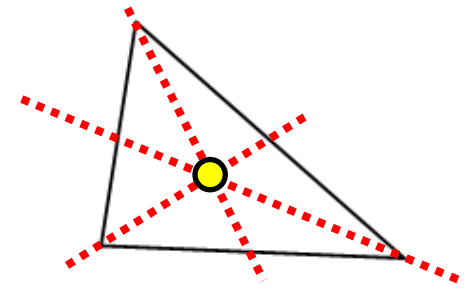
Carrelage



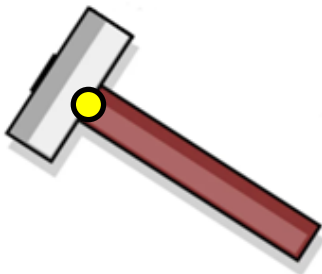
Cube



Boule



Triangle



Marteau



Raquette de plage



Boomerang

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

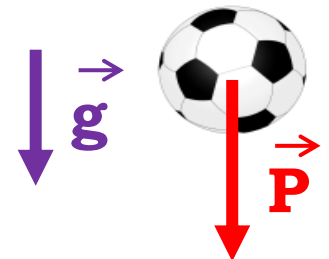
☛ Définition : Le poids exercé par un astre sur un système de masse m situé à sa surface est une **force modélisant l'attraction qu'exerce l'astre** sur ce corps.

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

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

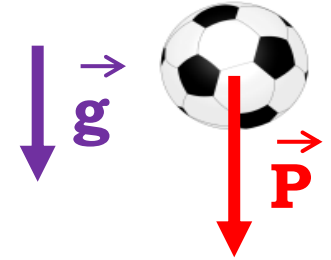
☛ **Définition** : Le poids exercé par un astre sur un système de masse m situé à sa surface est une **force modélisant l'attraction qu'exerce l'astre** sur ce corps.

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

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.

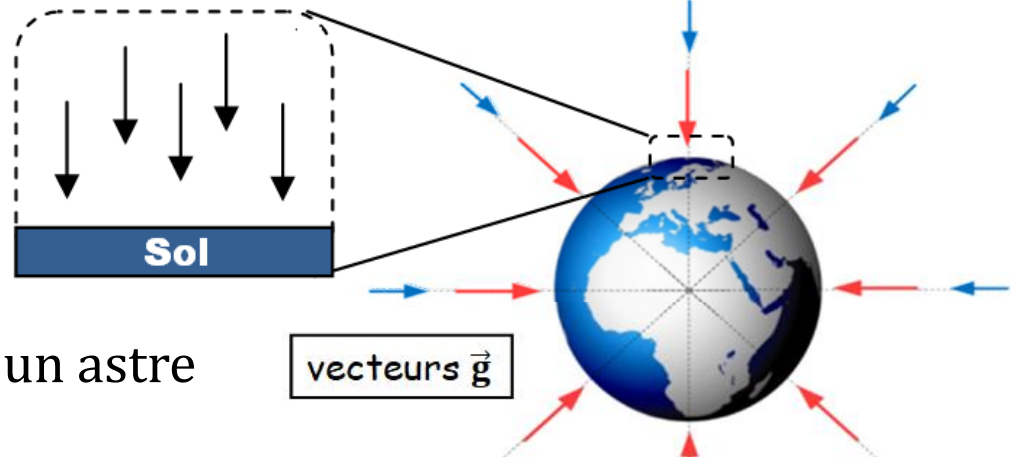


➔ **A propos du vecteur \vec{g}** :

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

Le vecteur champ de pesanteur a :

- # sa **norme g** qui diminue quand l'altitude **H augmente** ;
- # sa **direction** et son **sens** qui **dépendent** de la latitude et de la longitude du point M.



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

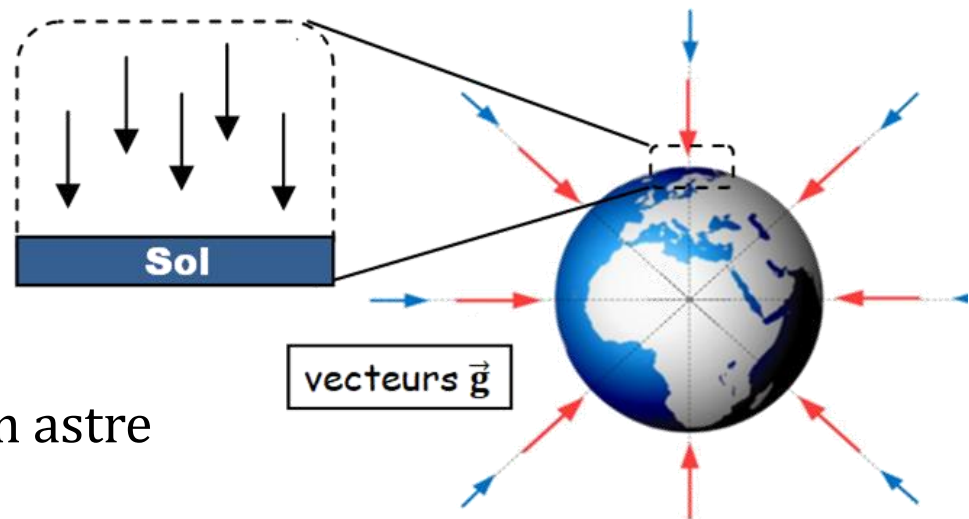
Cependant, on considèrera que c'est quand même le cas dans une zone de l'espace de **petite** dimension par rapport aux dimensions de **l'astre**.

→ A propos du vecteur \vec{g} :

Le vecteur champ de pesanteur a :

- # sa **norme g** qui diminue quand l'altitude **H augmente** ;
- # sa **direction** et son **sens** qui **dépendent** de la latitude et de la longitude du point M.

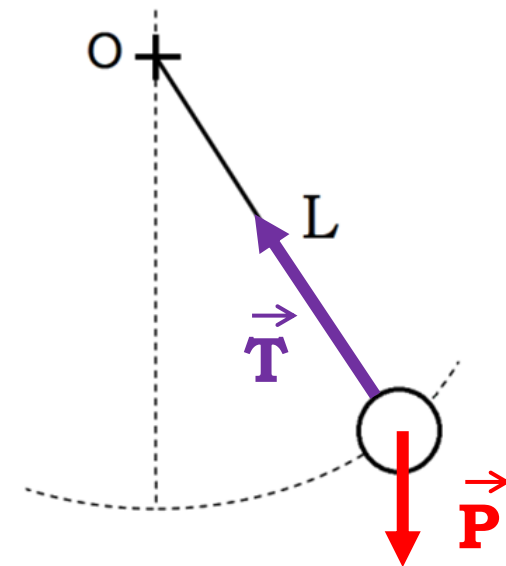
Le champ de pesanteur autour d'un astre n'est donc pas **constant**...



Cependant, on considèrera que c'est quand même le cas dans une zone de l'espace de **petite** dimension par rapport aux dimensions de **l'astre**.

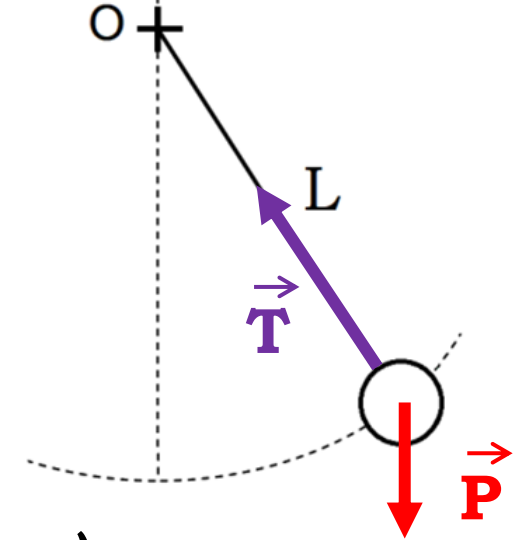
b/ La Tension \vec{T} d'un fil

- 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

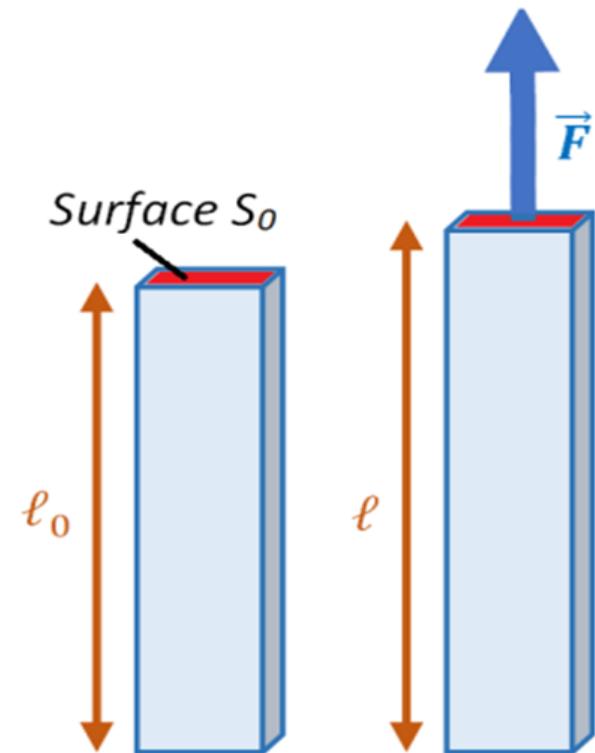


b/ La Tension \vec{T} d'un fil

- 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.

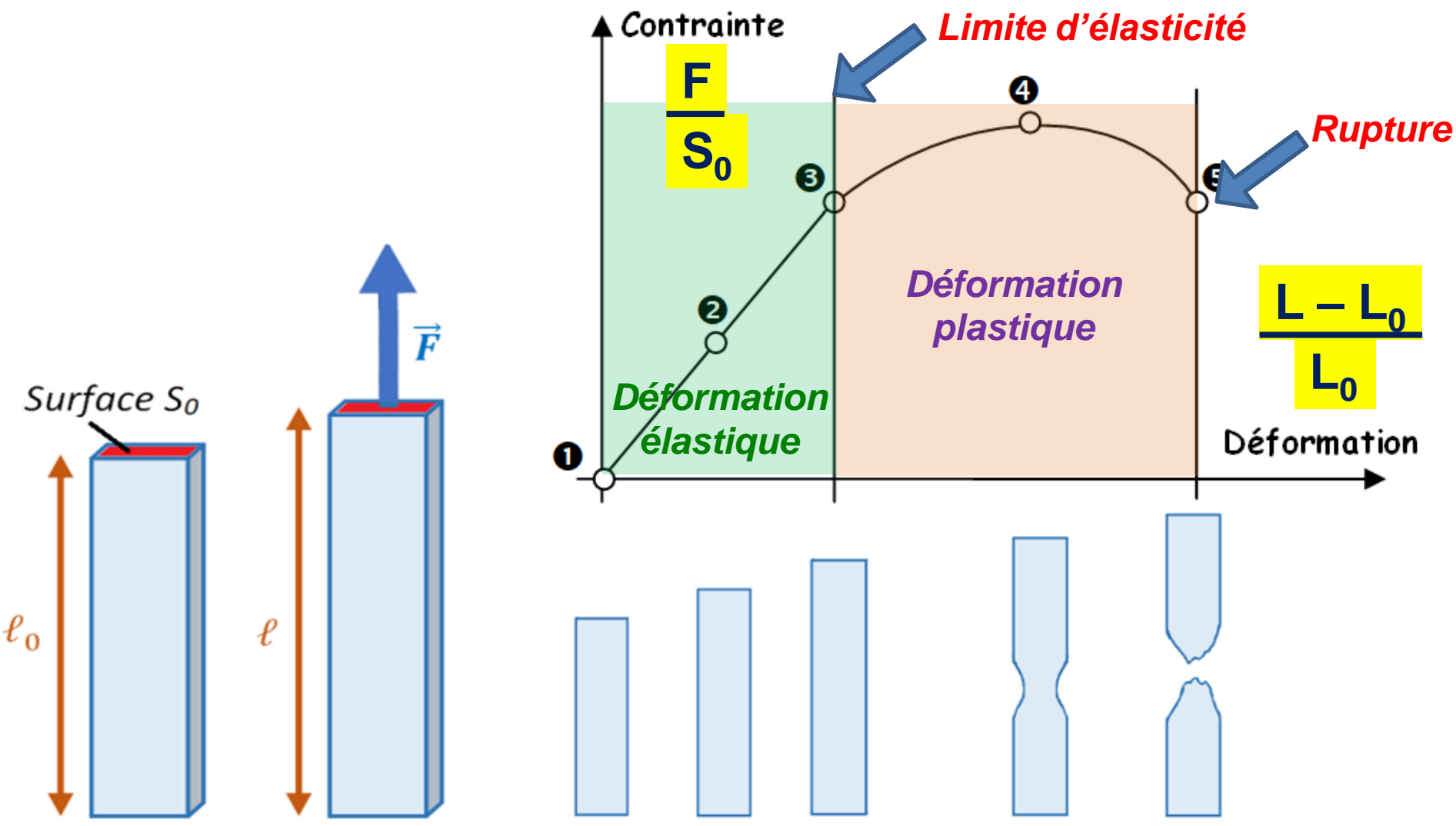
☛ Propriétés : Il existe une limite, appelée **LIMITE D'ELASTICITE**, au-delà de laquelle le matériau cesse d'être élastique.

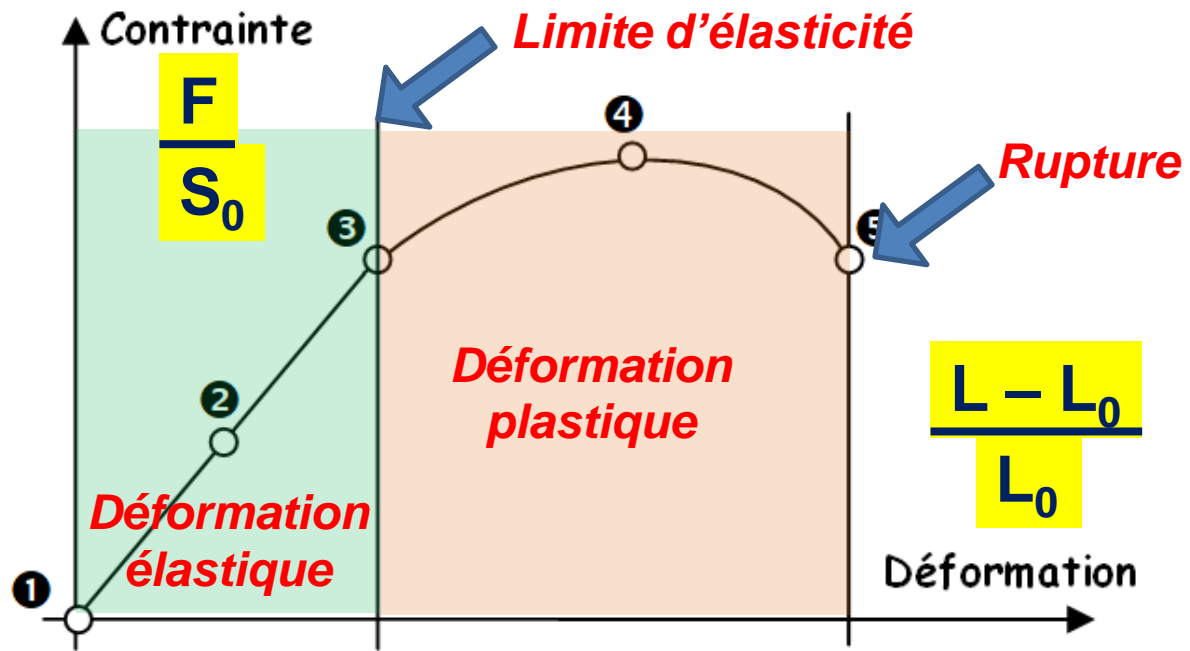
Contrainte : $\frac{F}{S_0}$

Déformation : $\frac{L - L_0}{L_0}$

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.

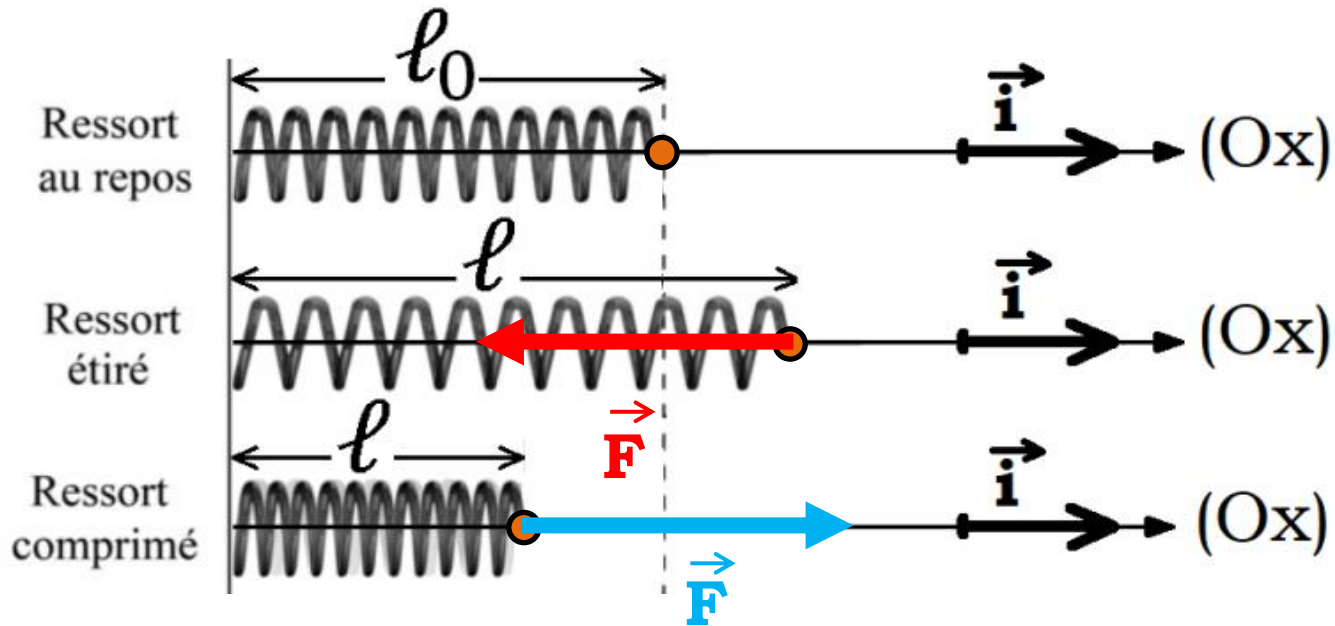




➔ **Un matériau élastique : le RESSORT :**

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

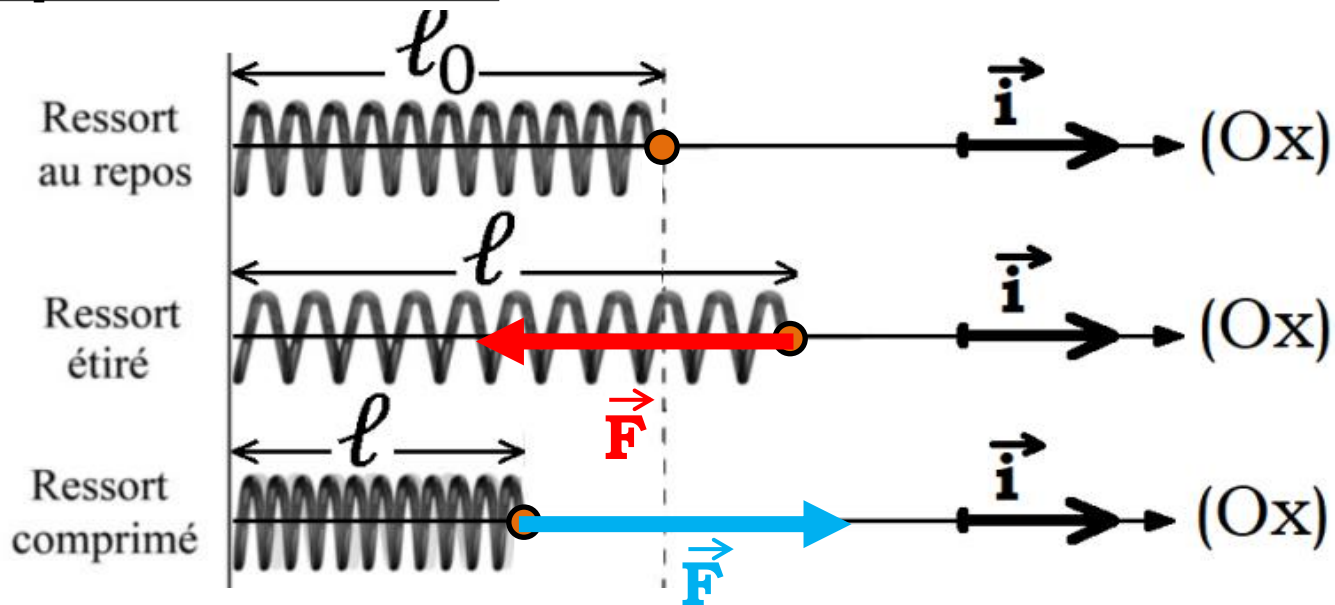
\vec{F} = Force de RAPPEL du ressort



→ 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.

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

N $N.m^{-1}$ m



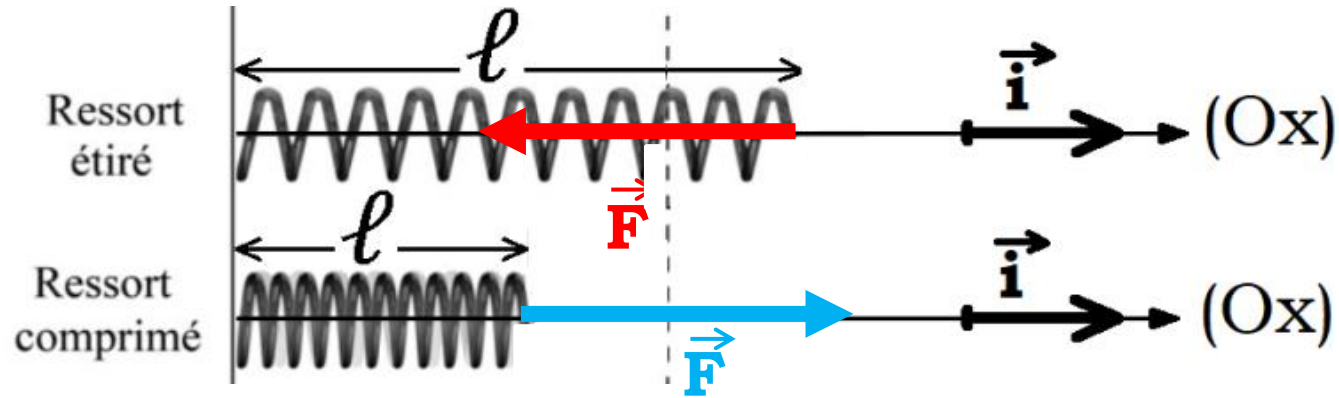
ORIENTATION DE \vec{i}

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 $l - l_0$ de celui-ci, la constante de proportionnalité étant la constante de raideur k du ressort.

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

\downarrow N \downarrow N.m⁻¹ \downarrow m

Cohérence de la formule :

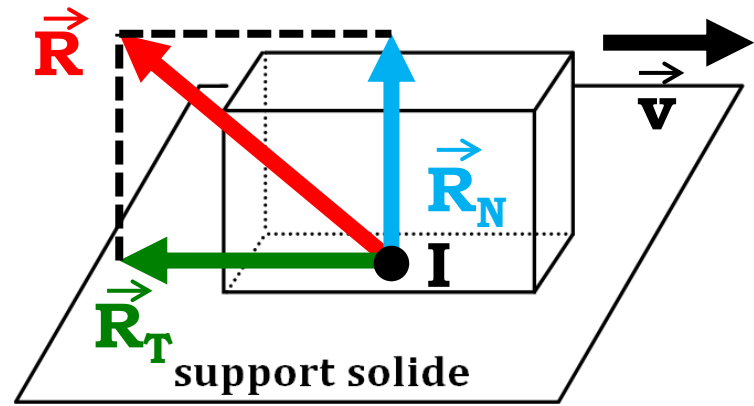
Ressort étiré : $l - l_0$ est de signe **positif** donc \vec{F} et \vec{i} sont de sens **opposé**.

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

d/ Action exercée par un support solide

\vec{R} = Réaction du support

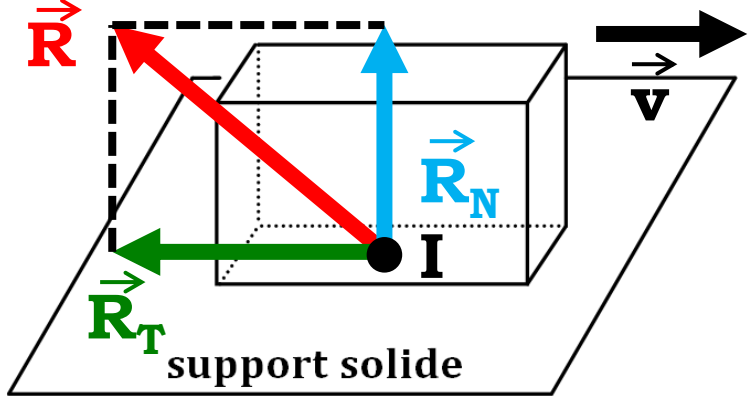
➔ 2 composantes : \vec{R}_N et \vec{R}_T



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, $\vec{R} = \vec{R}_N$

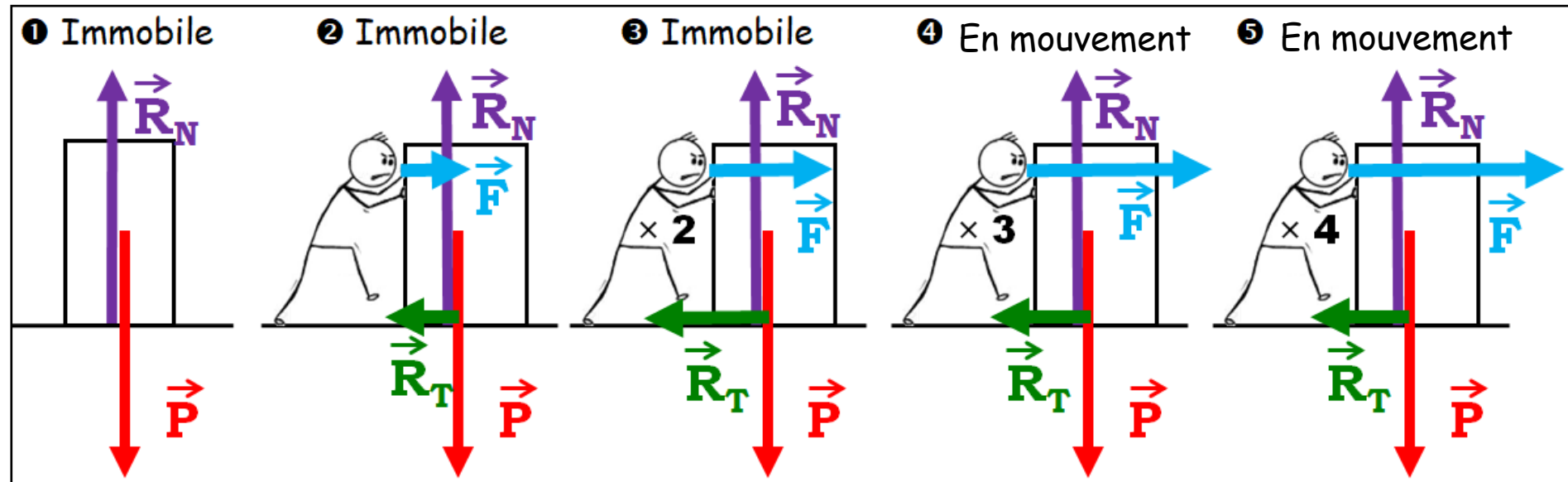


Raisonner soit sur \vec{R} , soit sur $\vec{R}_N + \vec{R}_T$, mais pas sur $\vec{R} + \vec{R}_N + \vec{R}_T$...

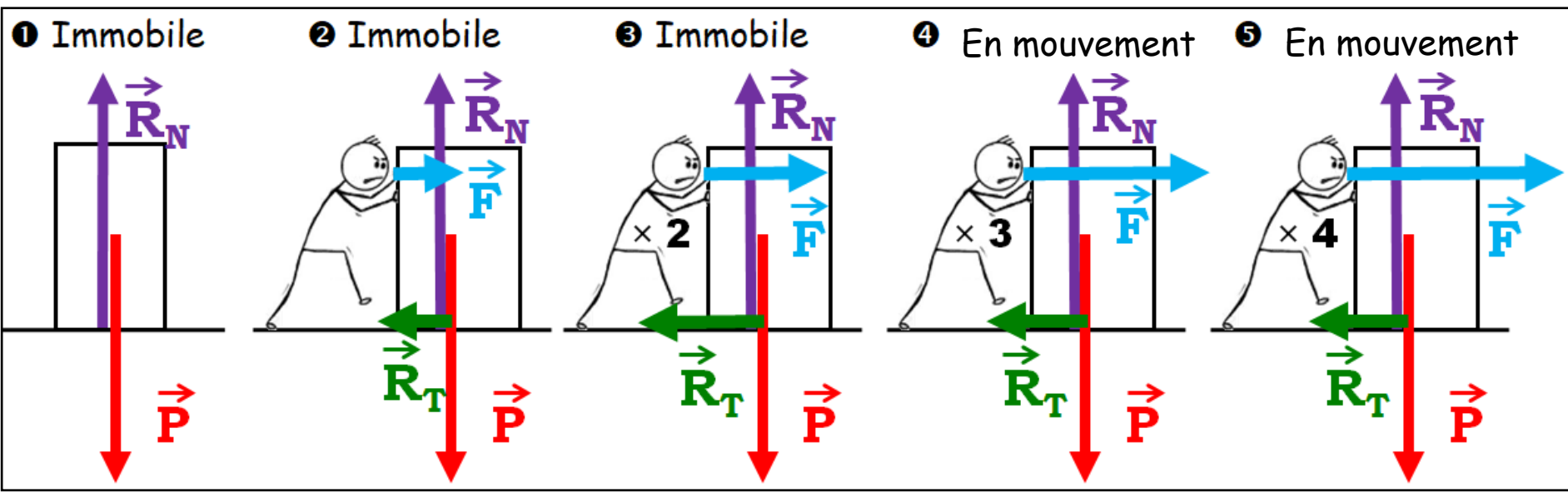
d/ Action exercée par un support solide

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

- 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)

$$R_T < f_s \times R_N$$

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, $f = f_s \approx f_D$

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)

$$R_T = f_D \times R_N$$

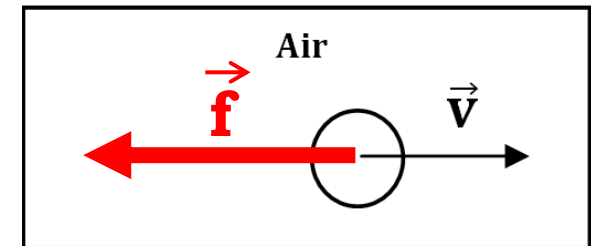
f_D : coefficient *dynamique* de frottement



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 :



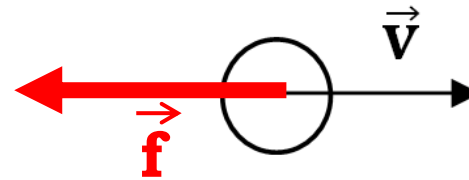
$$\vec{f} = -h \times \vec{v}$$

f = valeur de la force de frottement fluide (en **N**) ;
 v = vitesse de déplacement du système par rapport au fluide ou inversement (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, du matériau constituant le système ...

e/ Force de frottement fluide

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



II- Les Lois de Newton

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

a/ Énoncé

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).

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

a/ Énoncé

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

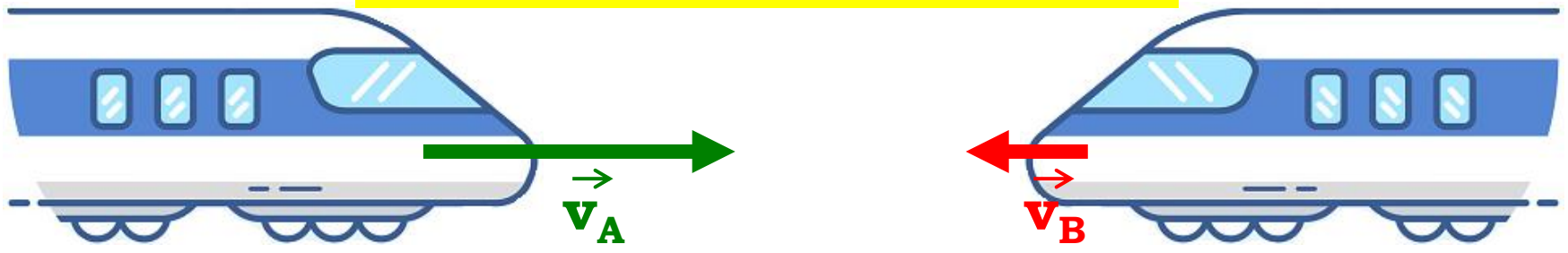
Le référentiel terrestre : Il est galiléen sur une **durée d'étude négligeable devant 24 h** (pour ne pas tenir compte de la rotation de la Terre sur elle-même).

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 !

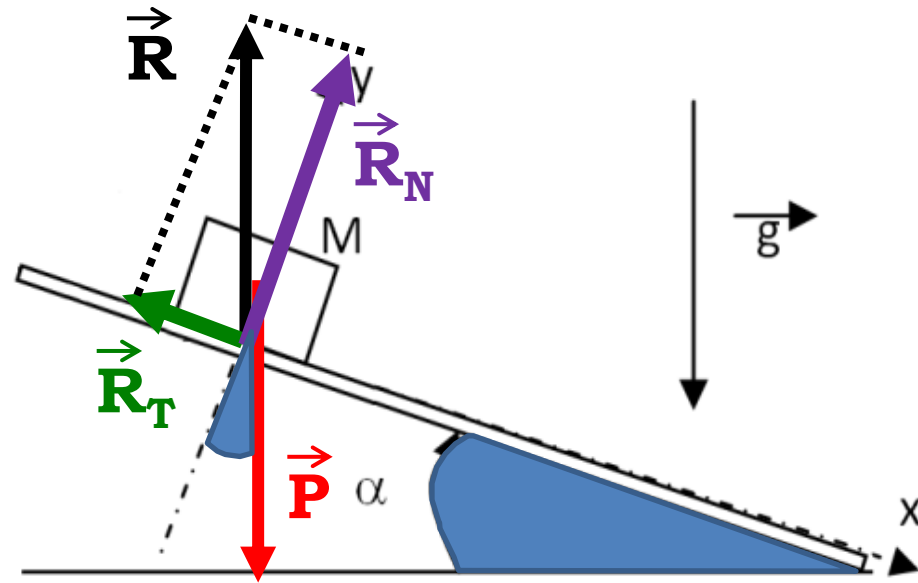
- Origine du repère d'espace : le centre de masse du Système Solaire ;
- Axes : 3 axes orthonormés pointés vers 3 étoiles fixes.

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 2 : 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)

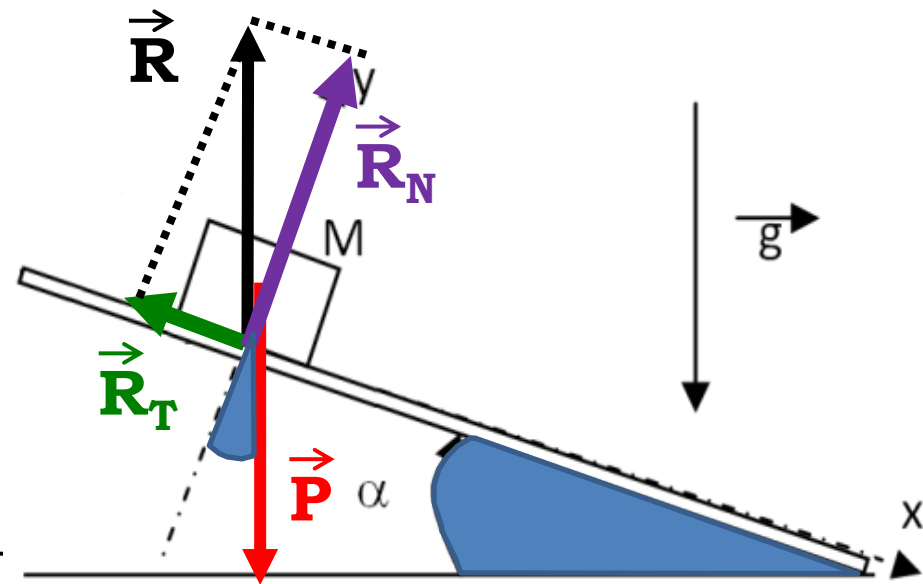
☛ Bilan des forces :

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

🦋 **Application 2** : 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.

☛ **Systeme** : 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) :**

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

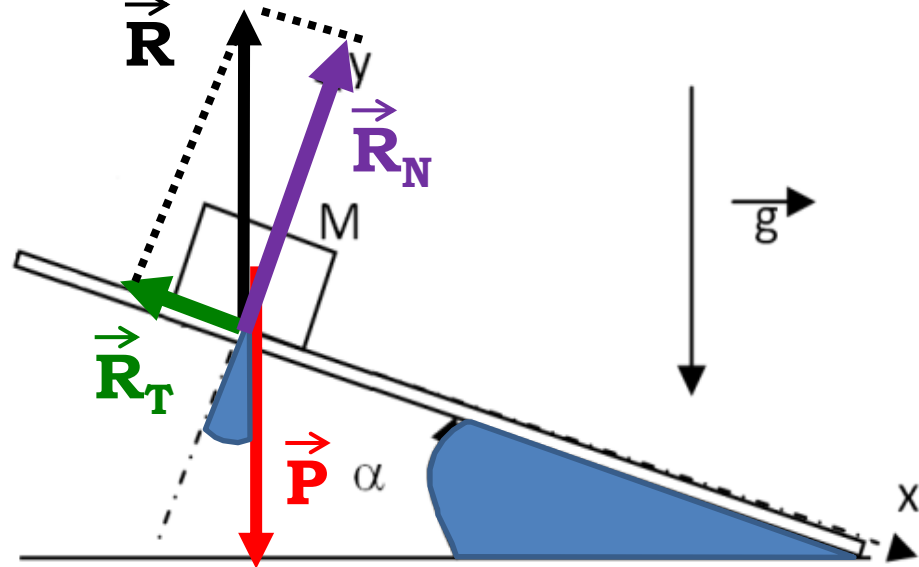
☛ **Expression vectorielle de la 1^{ère} Loi de Newton** : $\vec{P} + \vec{R}_N + \vec{R}_T = \vec{0}$

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

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

🔗 Application 2 : 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) :

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

☛ 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) : $P_x + R_{Nx} + R_{Tx} = 0$

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

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

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

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

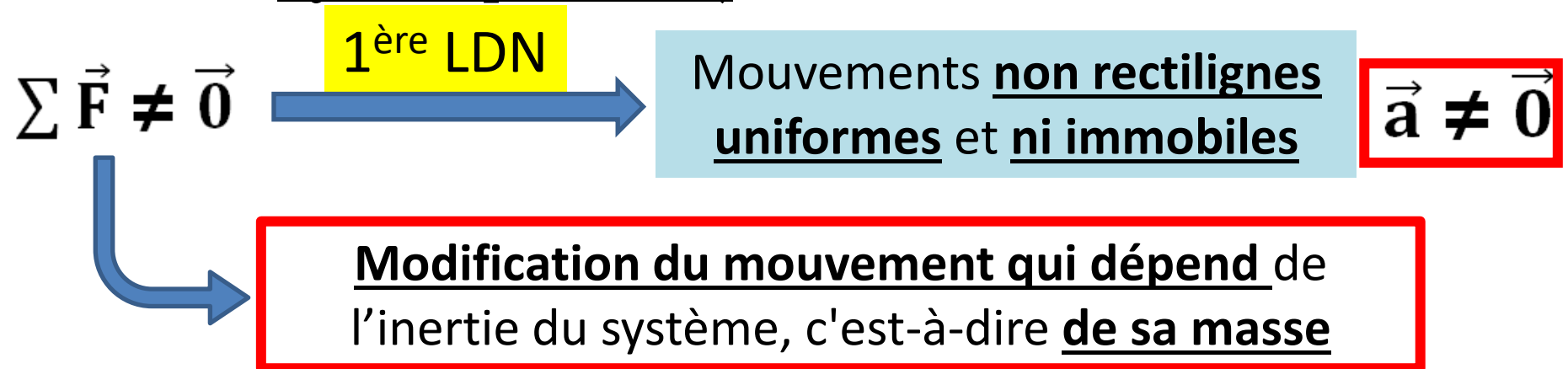
$$\vec{P} \begin{cases} P_x = P \cdot \sin(\alpha) \\ P_y = -P \cdot \cos(\alpha) \end{cases} \quad \vec{R}_N \begin{cases} R_{Nx} = 0 \\ R_{Ny} = R_N \end{cases} \quad \vec{R}_T \begin{cases} R_{Tx} = -R_T \\ R_{Ty} = 0 \end{cases}$$

• 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) : $P_x + R_{Nx} + R_{Tx} = 0$
 $\Leftrightarrow P \cdot \sin(\alpha) + 0 - R_T = 0 \quad \Leftrightarrow \underline{R_T = P \cdot \sin(\alpha)}$

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

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



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

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

☛ 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)

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: 'N' points to the sum symbol, 'kg.m.s⁻¹' points to the derivative, and 's' points to the denominator 'dt'.

Et pour un système fermé ?

☛ Enoncé simplifié :

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

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: N (pointing to \vec{F}_{ext}), kg.m.s⁻¹ (pointing to \vec{p}), s (pointing to dt)

Et pour un système fermé ?

☛ Enoncé simplifié :

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

Annotations: N (pointing to \vec{F}_{ext}), kg (pointing to m), m.s⁻² (pointing to \vec{a})



Autre unité de la force : le kg.m.s⁻²

Et pour un système fermé ?

☛ Énoncé simplifié :

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

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

N
kg
m.s⁻²

0 car m = Constante



Autre unité de la force : le kg.m.s⁻²

b/ Applications

Chute libre sans vitesse initiale dans un champ de pesanteur uniforme

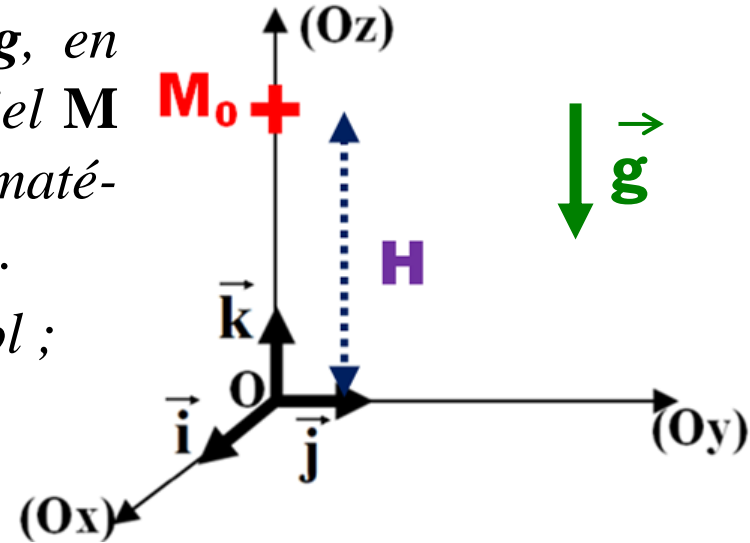
☞ Application 3 : Bille de masse $m = 25,0 \text{ g}$, en **CHUTE LIBRE**, assimilable à un point matériel M dans le repère cartésien $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, l'axe (Oy) matérialisant le sol et l'axe (Oz) la verticalité du lieu.

$\underline{A t = 0}$, M_0 situé à l'altitude $H = 10,0 \text{ m}$ du sol ;

M est lâché sans vitesse initiale ;

situé à l'altitude $H = 10,0 \text{ m}$ du sol ;

Champ de pesanteur uniforme \vec{g} de norme $9,8 \text{ m.s}^{-2}$.



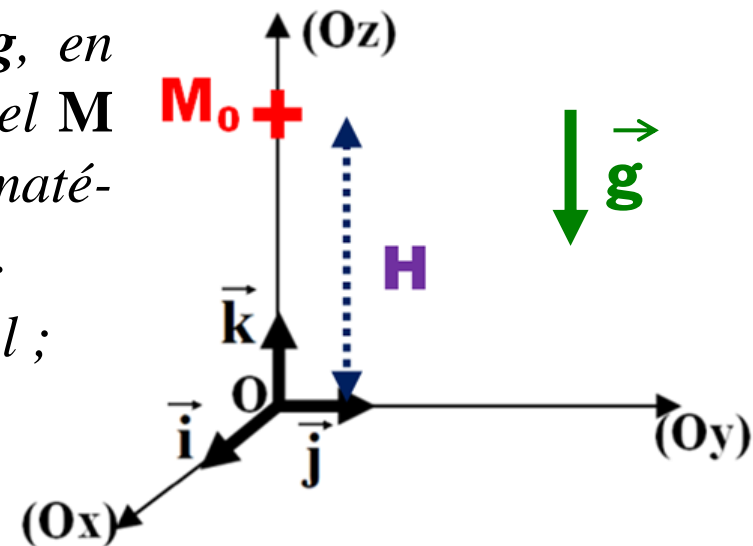
Chute libre sans vitesse initiale dans un champ de pesanteur uniforme

✎ Application 3 : 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.

$\mathbf{A} \mathbf{t} = \mathbf{0}$, M_0 situé à l'altitude $H = 10,0 \text{ m}$ du sol ;

M est lâché sans vitesse initiale ;
situé à l'altitude $H = 10,0 \text{ m}$ du sol ;

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

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

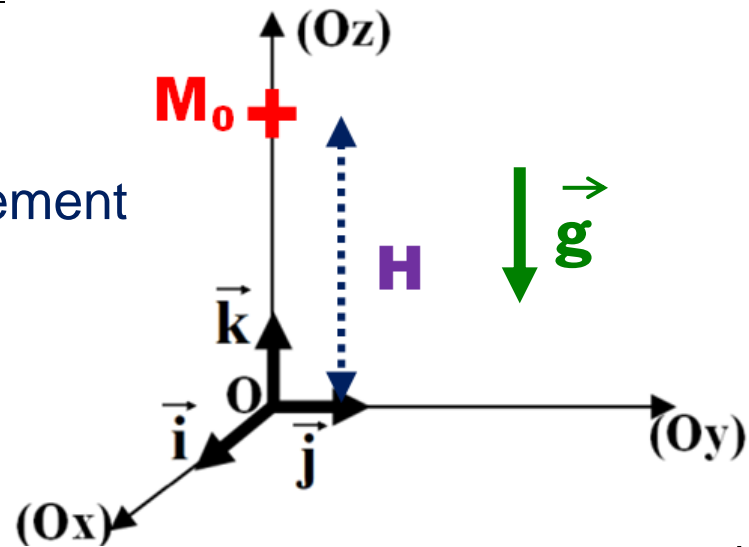
Chute libre sans vitesse initiale dans un champ de pesanteur uniforme

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

☛ 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

$$v_z = -g.t + C_1 \text{ avec } C_1 = v_{z0} = 0$$

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

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

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

☛ Application 4 : Comme 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 $z = 0$

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

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

☛ Application 4 : Comme 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 : $\vec{f} = -h \times \vec{v}$

☛ PFD (2^{ème} Loi de Newton) :

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

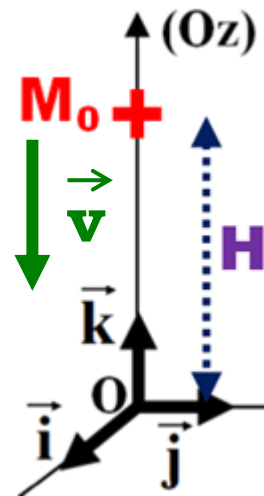
$$\vec{P} + \vec{f} = m \times \vec{a} \quad \Leftrightarrow \quad m \times \vec{g} - h \times \vec{v} = m \times \vec{a}$$

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

☛ 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

☛ Systeme : 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

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

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

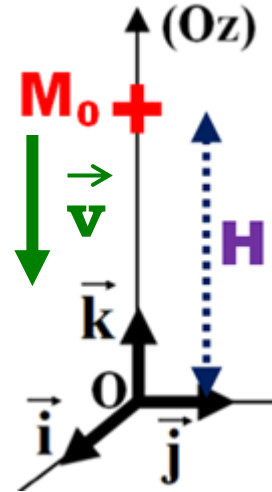
Equation
différentielle
vérifiée par v_z

☛ Constante de temps τ caractéristique du mouvement :

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

m — kg
 h — $kg \cdot s^{-1}$
 s —

Régime permanent atteint au bout
d'environ 5τ .



☛ 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 : $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
 τ : s

Régime permanent atteint
au bout d'environ 5τ .

☛ Résolution de l'équation différentielle :

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

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

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

☛ Utilisation des conditions initiales :

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

☛ Résolution de l'équation différentielle :

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

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

Solution générale : $v_z = v_{z1} + v_{z2}$ Soit $v_z = - \frac{mg}{h} + A \times e^{-\frac{h}{m} \times t}$

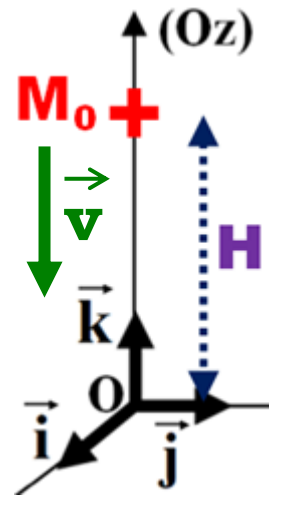
☛ Utilisation des conditions initiales :

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

☛ Expressions finales de v_z et de v :

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

$v_z = -v$ 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 :

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

☛ Expressions finales de v_z et de v :

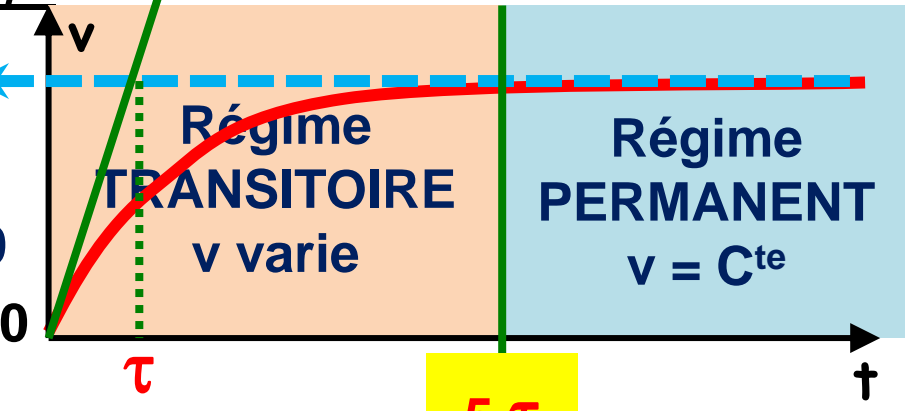
$$\# v_z = \frac{mg}{h} \times \left(-1 + e^{-\frac{h}{m} \times t} \right)$$

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

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

☛ Evolution de la vitesse v au cours du temps :

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



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 :

$$\underline{t = 3,7 \text{ secondes pour } z = 0}$$

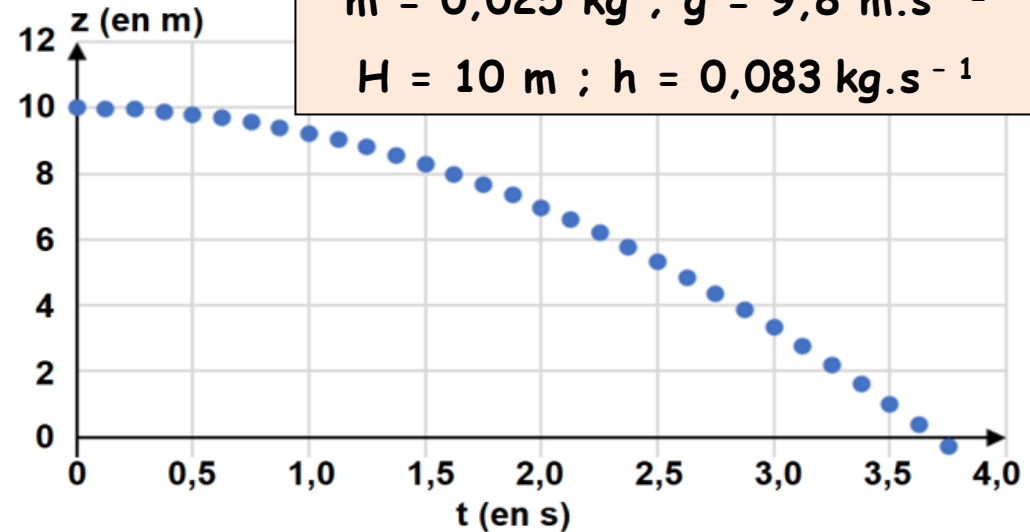
$$H = \frac{mg}{h} \left(-0 + \left(\frac{-m}{h} \right) e^{-\frac{h}{m} \times 0} \right) + C_1 \Leftrightarrow H = \frac{mg}{h} \left(\frac{-m}{h} \right) + C_1$$

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

☛ 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 ...

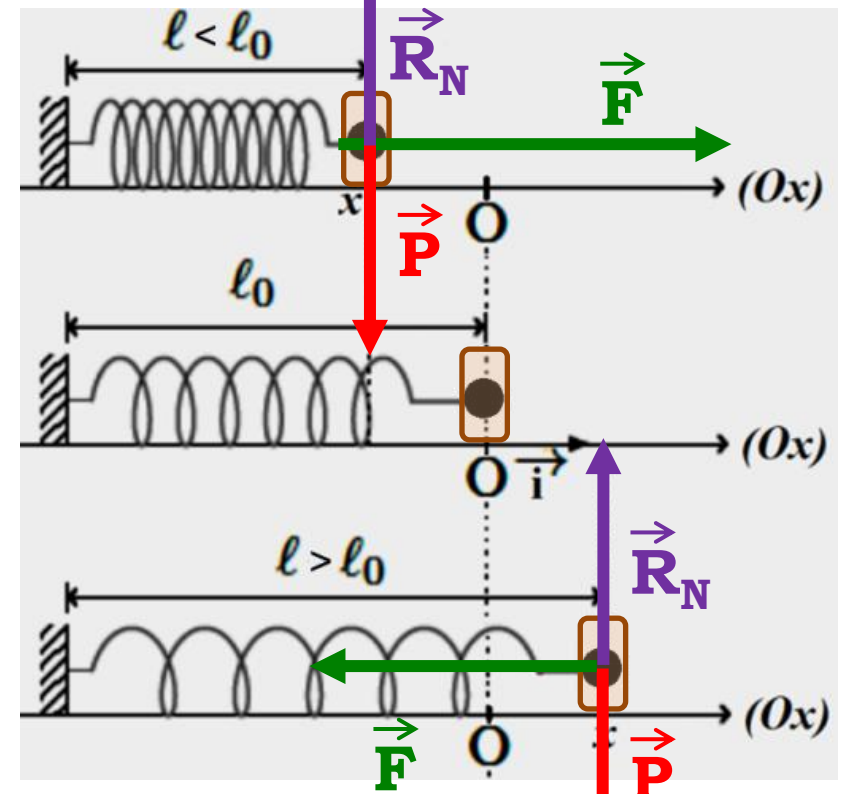
Système masse/ressort en régime libre – Modèle de l'OSCILLATEUR HARMONIQUE

Application 5 :

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



☛ 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 :

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

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 :

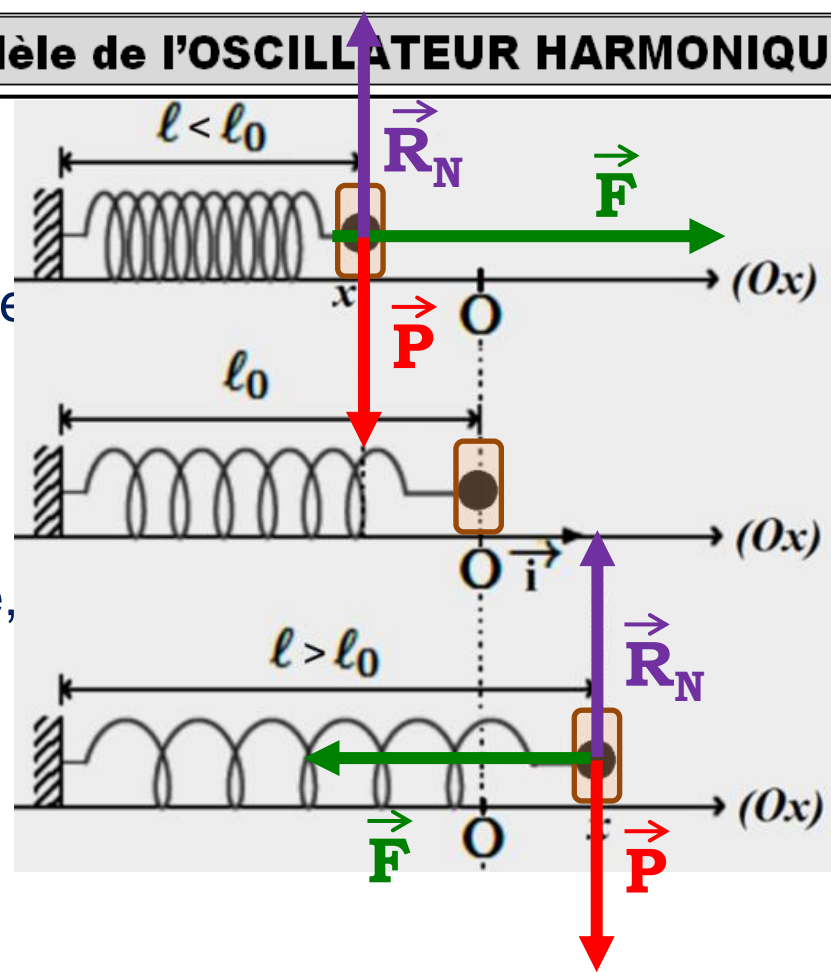
On projette sur (Ox) car la trajectoire a uniquement lieu sur cet axe :

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

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

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

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 :

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

avec : # $\omega_0 =$ **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.

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

☛ Utilisation des conditions initiales :

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

☛ 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 : # $\omega_0 =$ **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 :

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

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

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

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

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 $\omega_0 \neq 0$

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

☛ Utilisation des conditions initiales :

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

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

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

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, $x(t) = x_m \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)$

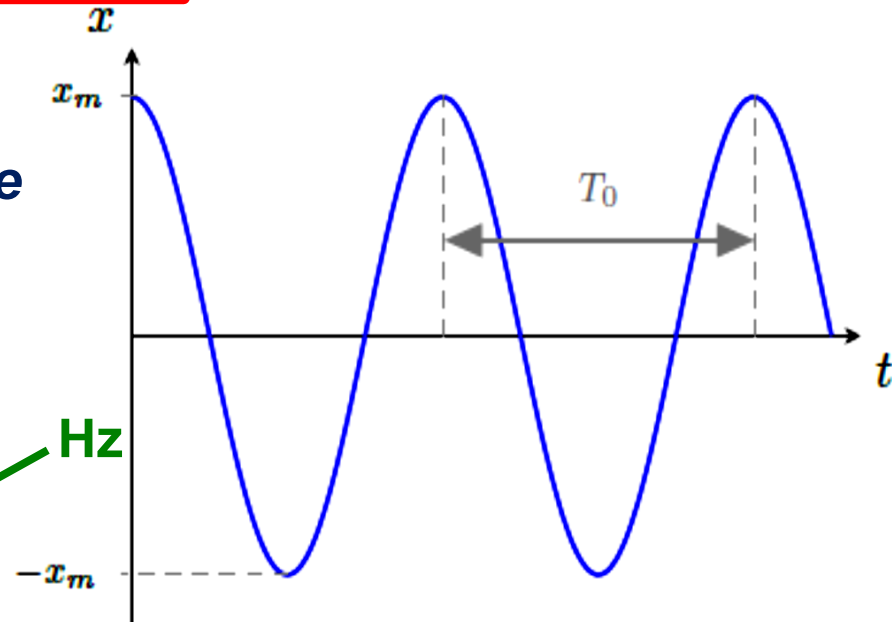
☛ Evolution de x au cours du temps :

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

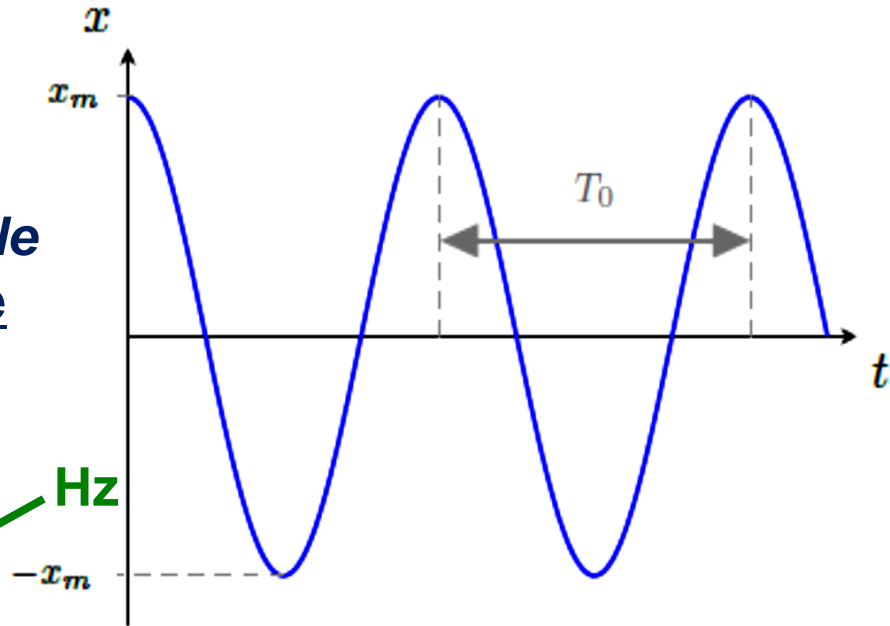


Et finalement, $A = \frac{x_m}{\cos(\varphi)} \Leftrightarrow A = \frac{x_m}{\cos(0)} \Leftrightarrow \underline{A = x_m}$

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 $x = 0$.



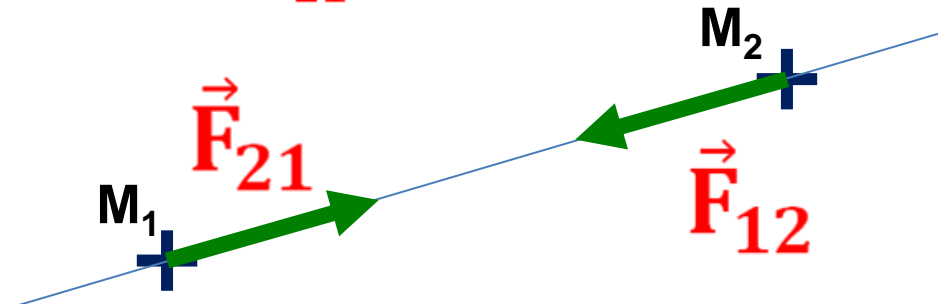
On montre que $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{1}{f_0}$

s → 2π
rad.s⁻¹ → ω_0
Hz → f_0

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.

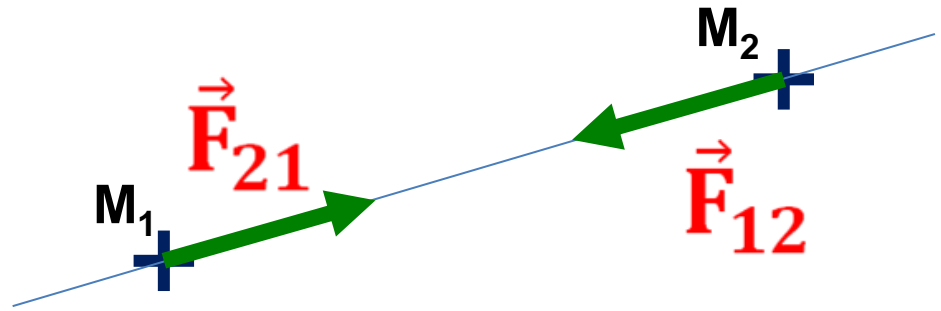
➤ Conséquence vectorielle : \vec{F}_{12} et \vec{F}_{21} sont **colinéaires**, de **même norme** et de **sens opposé**, la direction de ces forces étant la droite (M_1M_2) .



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 6 : 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 ici orientée dans le sens du mouvement.

