

Plan du cours:

- I Historique de la biomécanique
- II Notions de mécanique
 - > Principes Fondamentaux
- IV Muscles et biomécanique articulaire
- V Application aux pathologies

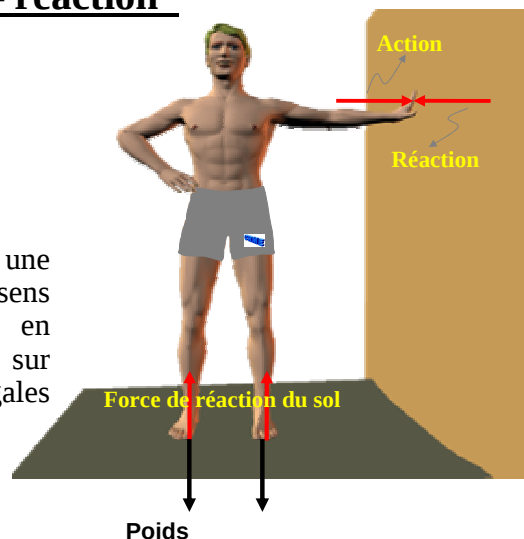
Rappels cours précédent

La loi d' "action – réaction"

(3e loi de Newton)

$$\mathbf{F}_{1,2} = -\mathbf{F}_{2,1}$$

Toute action engendre une réaction égale et de sens contraire. Deux corps en contact exercent l'un sur l'autre des forces égales mais de sens opposés.



Principe fondamental de la dynamique

(2e loi de Newton)

En translation

La quantité d'accélération d'un point matériel est égale à la somme des forces agissant sur lui

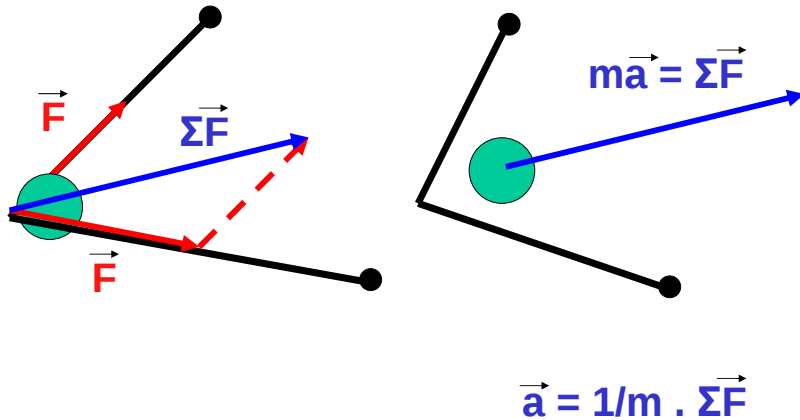
$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

avec

- F : Force extérieure
- m : masse du point matériel
- a : accélération en translation du corps

t = 0

Quand on lâche...



Conséquences

Si $F = m \cdot a$

Alors $3F = m \cdot 3a$

Une force :

- accélère un objet ou un corps.
- cause une augmentation ou une diminution de la vitesse d'un objet, ou un changement de direction.

Relation entre unités :

$$1 \text{ Newton (N)} = 1,0 \text{ kg} \times 1,0 \text{ m/s}^2$$

Principe fondamental de la dynamique

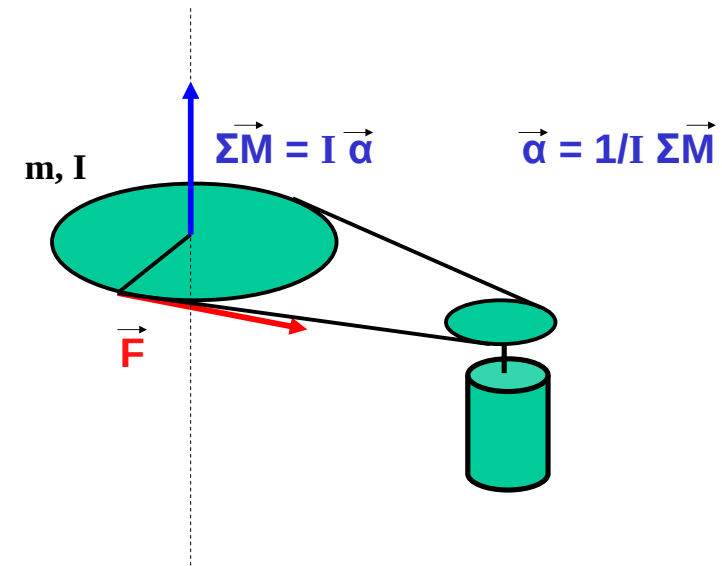
(2e loi de Newton)

En rotation

La quantité d'accélération angulaire d'un point matériel est égale à la somme des moments de force agissant sur lui

$$\sum \vec{M} = I \cdot \vec{\alpha}$$

- avec
- M : Moment extérieur
 - I : moment d'inertie du corps
 - α : accélération en rotation du corps



Conséquences

$$\text{Si } M = I \cdot \alpha$$

$$\text{Alors } 3M = I \cdot 3\alpha$$

Un moment de force :

- accélère un objet ou un corps.
- cause une augmentation ou une diminution de la vitesse angulaire -> accélération ou décélération angulaire

Relation entre unités :

$$\begin{aligned} 1 \text{ N.m} &= \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{rd} / \text{s}^2 \\ &= \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2 \end{aligned}$$

Principe fondamental de la statique

(1^{ère} loi de Newton)

- ✓ Si le système est en équilibre alors la somme des forces et la somme des moments sont nulles

Si équilibre, alors :

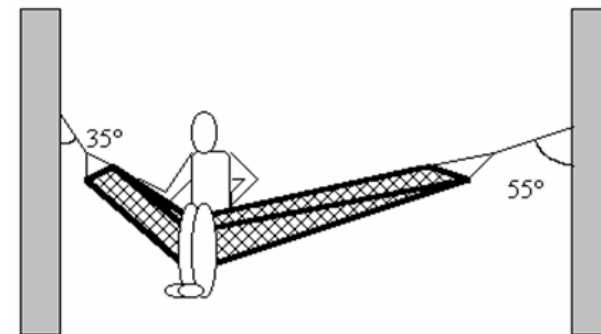
$$\begin{cases} \sum \vec{F} = \vec{0} \\ \sum \vec{M}_o(\vec{F}) = \vec{0} \end{cases}$$

Equilibre de translation : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$ |

Equilibre de rotation : $\sum \vec{M}_o \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0}$

Les deux sont nécessaires pour avoir un équilibre parfait...

Exemple d'Application du PFS et Méthodologie

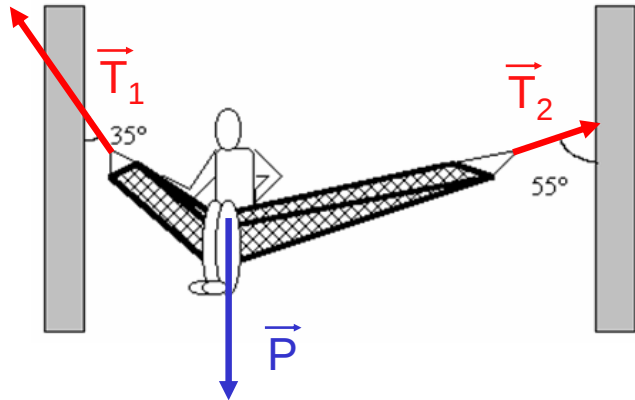


Individu en équilibre dans un hamac

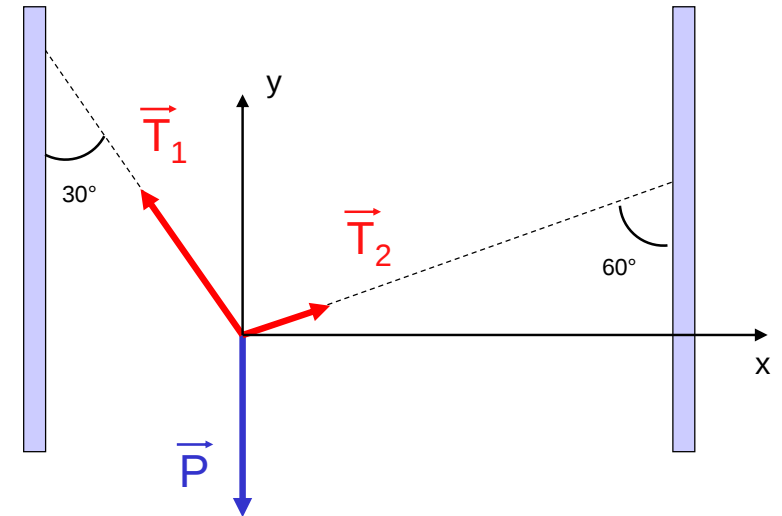
L'individu est soumis à plusieurs forces

Ici il y a équilibre, donc la somme des forces est nulle

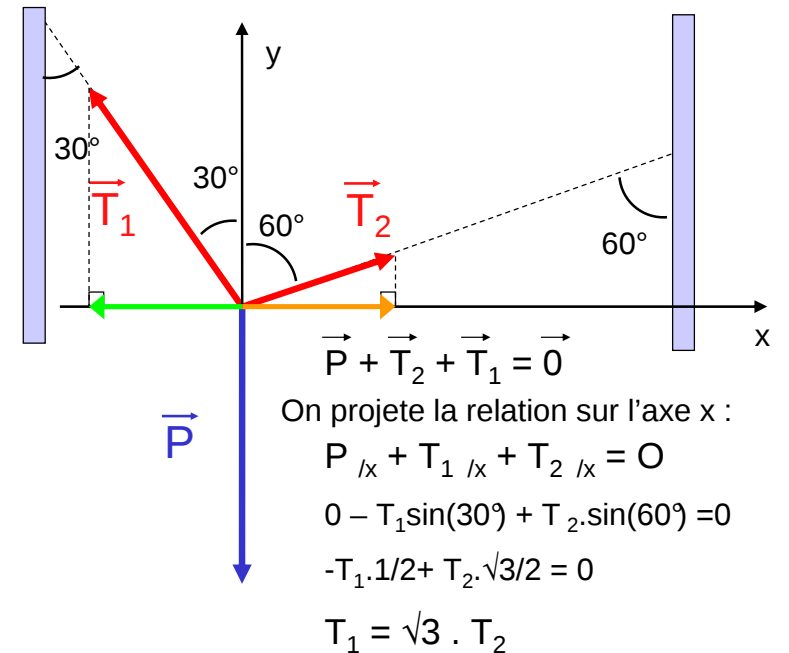
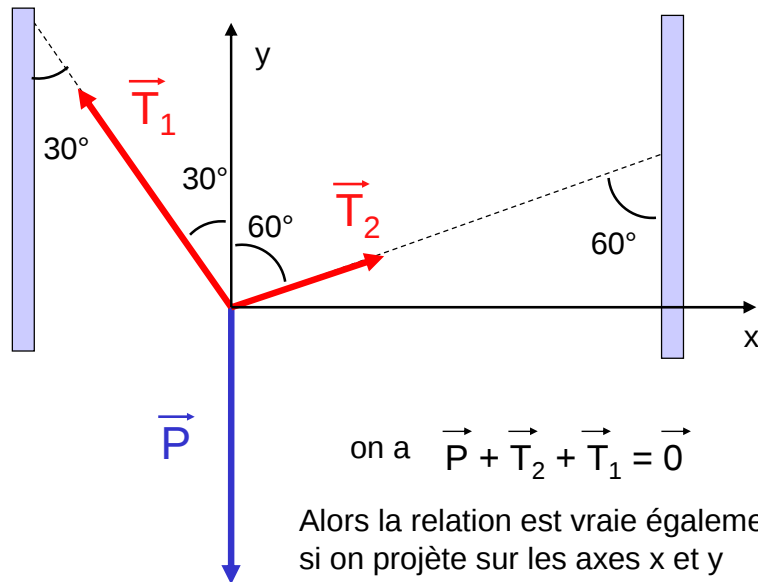
$$\vec{P} + \vec{T}_2 + \vec{T}_1 = \vec{0}$$

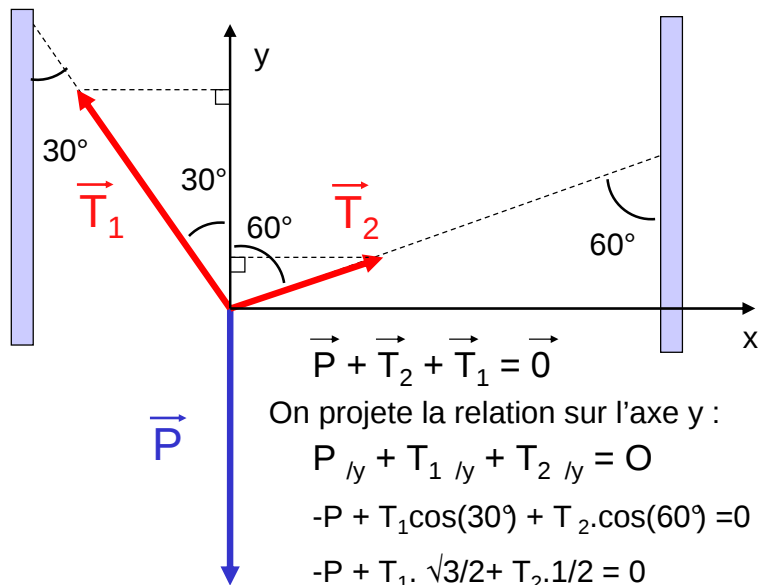


On ramène toutes les forces au CdM



On projète le système de vecteurs sur les axes x et y





$\vec{P} + \vec{T}_2 + \vec{T}_1 = \vec{0}$ projetée sur x et y donne les 2 équations suivantes :

$$T_1 = \sqrt{3} \cdot T_2 \quad (1)$$

$$-P + T_1 \cdot \sqrt{3}/2 + T_2 \cdot 1/2 = 0 \quad (2)$$

On injecte (1) dans (2) :

$$-P + (\sqrt{3} T_2) \sqrt{3}/2 + T_2 \cdot 1/2 = 0$$

$$-P + (3/2 + 1/2) T_2 = 0$$

$$-P + 2 T_2 = 0$$

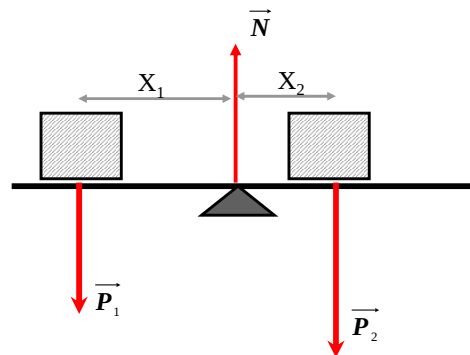
$$T_2 = \frac{1}{2} P = 0.5 \cdot 75 \cdot 9.81 = 368 \text{ N}$$

On revient à (1) :

$$T_1 = \sqrt{3} \cdot T_2 = 1.73 \times 368$$

$$T_1 = 636 \text{ N}$$

Exemple PFS:

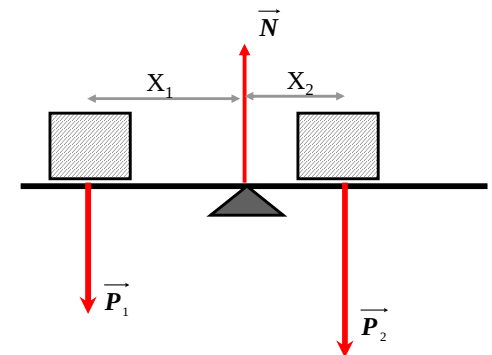


Le système est en équilibre:

Que vaut le rapport x_2/x_1 ??

Que vaut x_2 si $\|\vec{P}_1\| = 200 \text{ N}$ et $x_1 = 1 \text{ m}$
 $\|\vec{P}_2\| = 400 \text{ N}$

Exemple PFS:



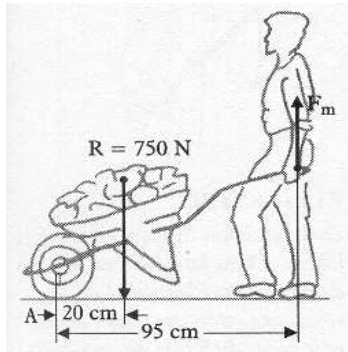
Le système est en équilibre:

$\Sigma M = 0$ donc $P_1 \cdot x_1 - P_2 \cdot x_2 = 0$ donc $x_2/x_1 = P_1/P_2$

$\|\vec{P}_1\| = 200 \text{ N}$ et $x_1 = 1 \text{ m}$
 $\|\vec{P}_2\| = 400 \text{ N}$

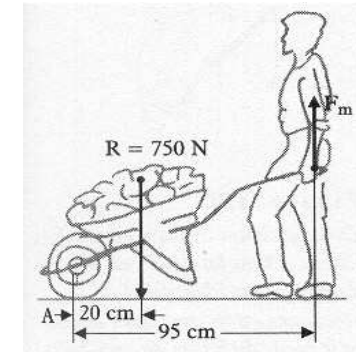
$$\text{Donc } x_2 = 200/400 \cdot 1 = 0.5$$

Exemple PFS:



Pour que la brouette soit en équilibre, quelle force F_m doit développer l'individu ?

Exemple PFS:



$$\Sigma M = 0 \text{ donc } 0,95 \times F_m - 0,2 \times 750 = 0 \\ \text{donc } F_m = 0,2 \times 750 / 0,95 = 158 \text{ N}$$

Mouvement uniforme en translation

- ✓ Si un objet est en mouvement rectiligne uniforme (translation) et qu'aucune force n'agit sur lui, il reste en mouvement à vitesse constante sur une trajectoire rectiligne.

$$\Sigma \vec{F} = \vec{0} \text{ donc } m \vec{a} = \vec{0} \text{ donc } \vec{V} = \vec{C}st$$

Mouvement uniforme en rotation

- ✓ Si un objet est en rotation uniforme et qu'aucune moment n'agit sur lui, il reste en mouvement de rotation à vitesse angulaire constante

$$\Sigma \vec{M} = \vec{0} \text{ donc } \vec{\alpha} = \vec{0} \text{ donc } \vec{\omega} = \vec{C}st$$

Quantité de Mouvement et Moment cinétique

Définition de la Quantité de Mouvement (Translation)

Soit un système S et G son Centre de Masse

Quantité de mouvement de S :

$$\vec{p}_G = m\vec{V}_G$$

Avec m : masse de S

$\vec{V}_G$: vitesse du centre de masse G

Propriétés de la quantité de mouvement

Si le système est composé de plusieurs parties alors sa qté de mvt = somme de la qté de mvt des différentes parties

$$\vec{p}_G = \sum_i m_i \vec{V}_{Gi} = \sum_i \vec{p}_i$$

La dérivé de qté de mvt par rapport au temps = somme des forces extérieures

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

Théorème de conservation de la qté de mvt

$$\underline{\underline{\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}}} \Rightarrow \underline{\underline{\frac{d\vec{p}_G}{dt} = \vec{0}}} \Rightarrow \underline{\underline{\vec{p}_G = Cst\vec{t}}}$$

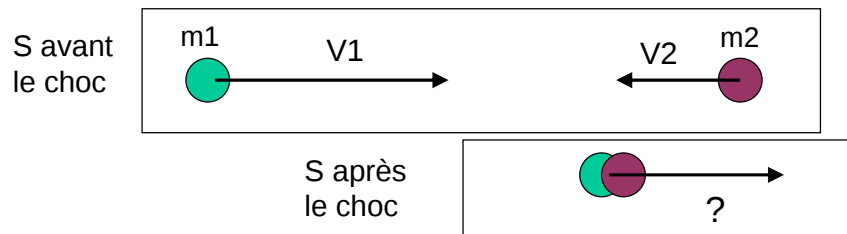
Exemple d'application

- 2 particules de masses m_1 et m_2 entrent en collision et s'agglomèrent en une seule particule.



Quelle est la vitesse après collision ?

- On considère le système S composé par les 2 particules de masses m_1 et m_2 qui entrent en collision et s'agglomèrent en une seule particule.



$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{p}_G = Cst \vec{t}$$

Remarque : les forces de choc sont des forces internes au système S

- Avant le choc :

$$\vec{p}_G = \sum_i m_i V_{Gi} = \sum_i \vec{p}_i = m_1 V_1 - m_2 V_2 = 1 \times 10 - 3 \times 1 = 7 \text{ kg.m/s}$$

- Après le choc :

$$\vec{p}_G = \sum_i m_i V_{Gi} = \sum_i \vec{p}_i = (m_1 + m_2) \cdot V$$

Or $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{p}_G = Cst \vec{t}$

Donc $(m_1 + m_2) \cdot V = 7$ Donc $V = 7 / (m_1 + m_2) = 7/4 = 1.75 \text{ m/s}$

Exercice : Plaquage au rugby

- Au cours d'un plaquage lors d'un match de rugby, un joueur ($m=100\text{kg}$) courant à une vitesse égale à 5m/s heurte de front un autre joueur ($m=90\text{kg}$) se déplaçant en sens inverse à une vitesse égale à 3m/s .
- Quelle sera la vitesse commune après le choc ?

Exercice : Plaquage au rugby

- Au cours d'un plaquage lors d'un match de rugby, un joueur ($m=100\text{kg}$) courant à une vitesse égale à 5m/s heurte de front un autre joueur ($m=90\text{kg}$) se déplaçant en sens inverse à une vitesse égale à 3m/s .
- Quelle sera la vitesse commune après le choc ?

Solutions : $m_1 V_1 + m_2 (-V_2) = (m_1 + m_2) V$
 $100 \times 5 - 90 \times 3 = 190 V$ d'où $V = 1.21 \text{ m/s}$

- Même question si le joueur de masse 90kg était à l'arrêt.

- Même question si le joueur de masse 90kg était à l'arrêt.

$$m_1 V_1 + m_2 (-V_2) = (m_1 + m_2) V$$

$$V_2 = 0$$

$$100 \times 5 = 190 \cdot V \text{ d'où } V = 2.63 \text{ m/s}$$

Moment cinétique :

l'équivalent de la quantité de mouvement en rotation

Soit un système S en rotation

G son Centre de Masse

Moment cinétique de S :

$$\vec{L}_{/G} = I_G \cdot \vec{\omega}$$

Avec I_G : moment d'inertie du système S
 $\vec{\omega}$: vitesse angulaire

Propriétés du moment cinétique

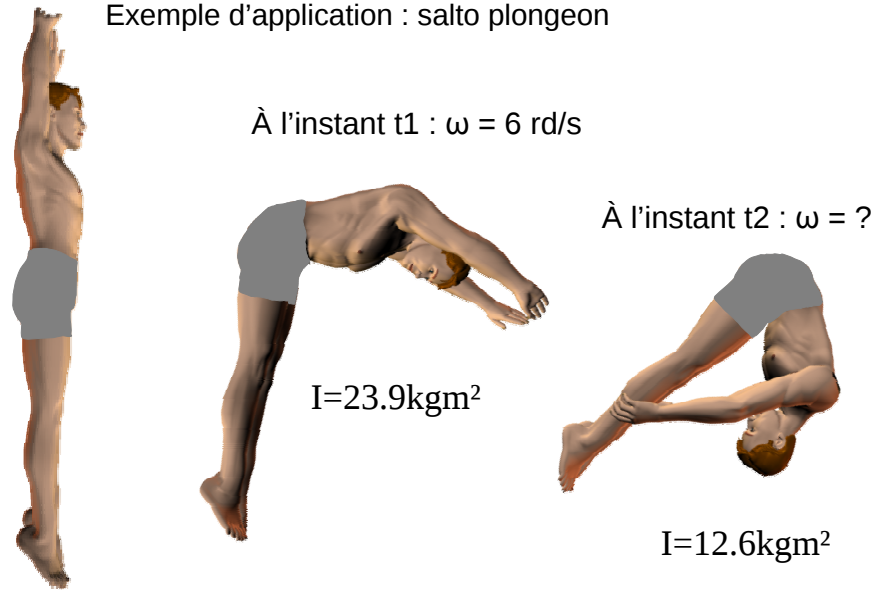
La dérivé du moment cinétique par rapport au temps = somme des moments de forces extérieures

$$\frac{d\vec{L}_{/G}}{dt} = \sum \vec{M}_{/G}(\vec{F}_{ext})$$

Théorème de conservation du moment cinétique

$$\sum \vec{M}_{/G}(\vec{F}_{ext}) = \vec{0} \Rightarrow I_G \vec{\omega} = Cst \vec{\omega}$$

Exemple d'application : salto plongeur



Quand il est en l'air, le plongeur n'est soumis qu'à son poids.

Le poids étant appliqué au CdM et le plongeur étant en rotation par rapport au CdM, alors le moment du poids est nul

$$\sum \vec{M}_{/G}(\vec{F}_{ext}) = \vec{0} \Rightarrow I_G \vec{\omega} = Cst \vec{\omega}$$

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$$

$$23.9 \times 6 = 12.6 \cdot \omega_2 \text{ Donc } \omega_2 = 11,3 \text{ rad/s}$$

Energie et Puissance

Différents types d'énergie

- Energie potentielle (élastique, gravitationnelle)
- Energie cinétique (translation, rotation)
- Energie cinétique en rotation
- Conservation de l'énergie si pas d'action extérieure
- Variation d'énergie = travail force extérieure
- Puissance

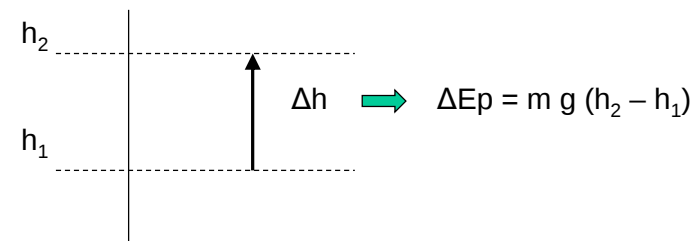
Energie potentielle gravitationnelle

- Energie potentielle gravitationnelle :

Soit un système S de masse m, à une hauteur du sol, h

$$E_p = m g h \quad (g = 9,81 \text{ m/s}^2)$$

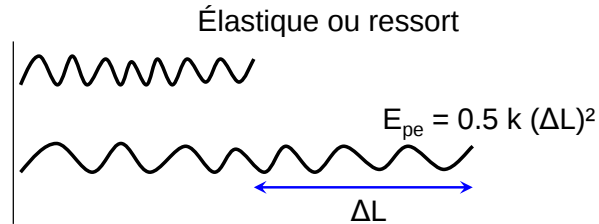
- Variation de hauteur $\rightarrow$ variation d'énergie potentielle gravitationnelle



Energie potentielle élastique

- Soit un élastique ou un ressort de longueur L et de raideur k
- Si on étire l'élastique d'une longueur ΔL

$$E_{pe} = \frac{1}{2} k (\Delta L)^2$$



L'énergie potentielle est une énergie qui est emmagasinée et qui peut être restituée (ici lorsqu'on lâche l'élastique)

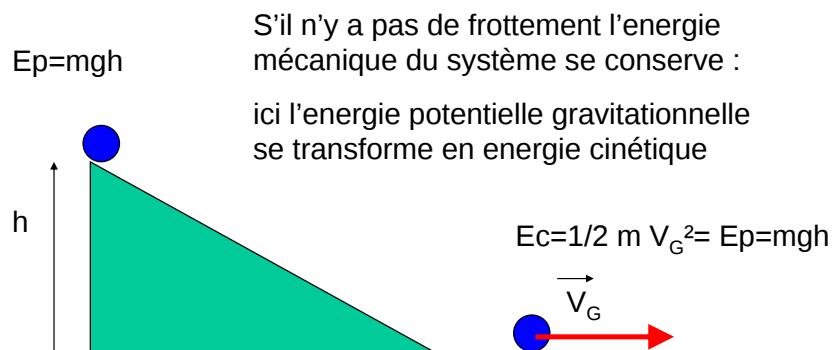
Energie cinétique

- Soit S un système de masse m , G son centre de masse et I son moment d'inertie
 - Si S est en mouvement de **translation** et V_G la vitesse de G , alors l'énergie cinétique est égale à
- Si S est en mouvement de **rotation** et ω la vitesse angulaire, alors l'énergie cinétique est égale à

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_G^2$$

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

Conservation et transfert d'énergie



$E_{mécanique}$ du système = Cste

Si E_p $\searrow$ alors E_c $\nearrow$ et si E_p $\nearrow$ alors E_c $\searrow$

Théorème de l'énergie cinétique

- La variation de l'énergie cinétique = travail des forces extérieures et intérieures

$$\Delta E_c = W_{F_{ext}} + W_{F_{int}}$$

Travail de la force F agissant sur une distance d :

$$W_F = F \cdot d$$

Dans le cas du sportif, le travail des forces musculaires est à même de générer une variation d'énergie cinétique

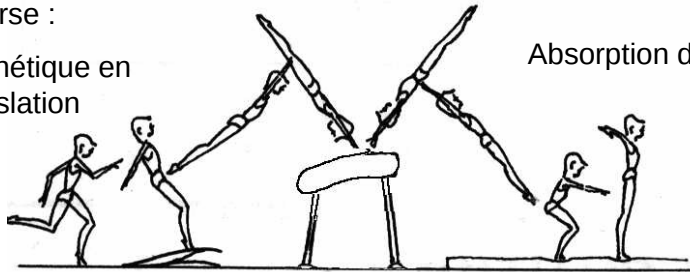
Salto avec appui :

E cinétique en rotation

Course :

E cinétique en
translation

Absorption de l'énergie



Travail forces musculaires tout au long du mouvement et lors de la réception

Travail de force extérieure : Energie élastique du tremplin