Mécanique du solide

(volet : solide)

→chapitre 06 cours Biomécanique

Pauline Neveu, PhD

Plan «Mécanique du solide»

1-Notion de solide

2-Centre de gravité

3-Mouvement des solides – moment de force

4-Coefficients d’inertie

5-Paramètres de mouvement

6-Énergie cinétique de rotation

1-Notion de solide

-un solide est un ensemble de points

.ces points ont tous une masse

.la cohésion entre ces points est due aux forces internes

-un solide peut être soumis à des forces extérieures

-un solide peut être caractérisé par un certain nombre de paramètres
(forme, dimensions, volume, densité...)

-deux types de solides existent

.solide indéformable ou rigide

→la distance entre les points constitutifs du solide est constante

.solide déformable ou articulé

→la distance entre les points constitutifs du solide n’est pas constante

2-Centre de gravité

2.1-Définition de la notion de centre de gravité

-centre de gravité CG = centre de masse CM
(en biomécanique où champ de pesanteur est constant)

-le CG correspond à un point matériel qui permet de modéliser un solide

-le CG correspond à un point où s'applique le poids

-le CG correspond à un point d'équilibre autour duquel les quantités de matière sont égales

-le CG d'un solide correspond au barycentre de ce solide

2-Centre de gravité
2.2-Centre de gravité, équilibre et stabilité

Ligne de gravité

→verticale passant par le centre de gravité

Base de sustentation ou polygone de sustentation

→surface d’appui au sol

Équilibre : un objet est en équilibre :

→quand sa ligne de gravité coupe sa base de sustentation

2-Centre de gravité
2.2-Centre de gravité, équilibre et stabilité

Stabilité

→évaluée par l'angle de stabilité
(plus l'angle de stabilité est grand et plus la stabilité est grande)

Un objet est d'autant plus stable que :

→sa base de sustentation est grande

→son centre de gravité est bas

2-Centre de gravité
2.3-Recherche emplacement CG : méthode des suspensions

-suspendre l'objet

→quand il ne bouge plus il est à l'équilibre :

→$\overrightarrow{\text{Poids}}$ et $\overrightarrow{\text{Force de suspension}}$ s'équilibrent (pas de force nette)

-tracer la verticale passant par le point d'attache

→le CG se trouve sur cette verticale

→où ?

→pour le savoir : renouveler l'expérience par un nouveau point d'attache : le CG se situe sur le point d'intersection des deux lignes tracées (renouveler l'expérience une troisième fois pour un objet 3D)

2-Centre de gravité

2.4-Recherche emplacement CG : les barycentres

Le barycentre de points pondérés peut être recherché

→ un point pondéré

.a une position dans l'espace défini par le référentiel

.a un coefficient de pondération (masse ou poids associé)

Ex : un solide constitué de deux points pondérés (A ; a) et (B ; b)

→ A et B sont les positions des points dans l'espace

→ a et b sont les coefficients de pondération

Si G est le barycentre de deux points pondérés (A ; a) et (B ; b) avec $a+b \neq 0$, alors, quel que soit le point M du plan, on a :

$$\boxed{a\,\overrightarrow{MA} + b\,\overrightarrow{MB} = (a+b)\,\overrightarrow{MG}}$$

2-Centre de gravité

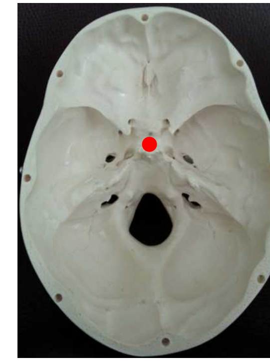
2.4-Recherche emplacement CG : les barycentres

Exercice 1 : rechercher G, barycentre des points (A, 1) et (B, 3)

Exercice 2 : rechercher G, barycentre des points (A, 2) et (B, -3)

2-Centre de gravité

2.5-Centres de gravité segmentaires chez l'humain



-tête : selle turcique (fosse pituitaire)

-tronc : face ventrale (antérieure) L1/L2

hauteur appendice xiphoïde, ventralement à T10/T11

-bras : milieu humérus

-avant-bras : 4/9 à partir extrémité proximale

-main : milieu paume (≈milieu 3[e] métacarpe)

tiers inférieur avant-bras

Coude (membre supérieur tendu)

-cuisse : 4/9 à partir extrémité proximale

-jambe : 4/9 à partir extrémité proximale

-pied : entre tarses postérieur et antérieur

tiers inférieur jambe

≈5 cm au dessus du genou (membre inférieur tendu)

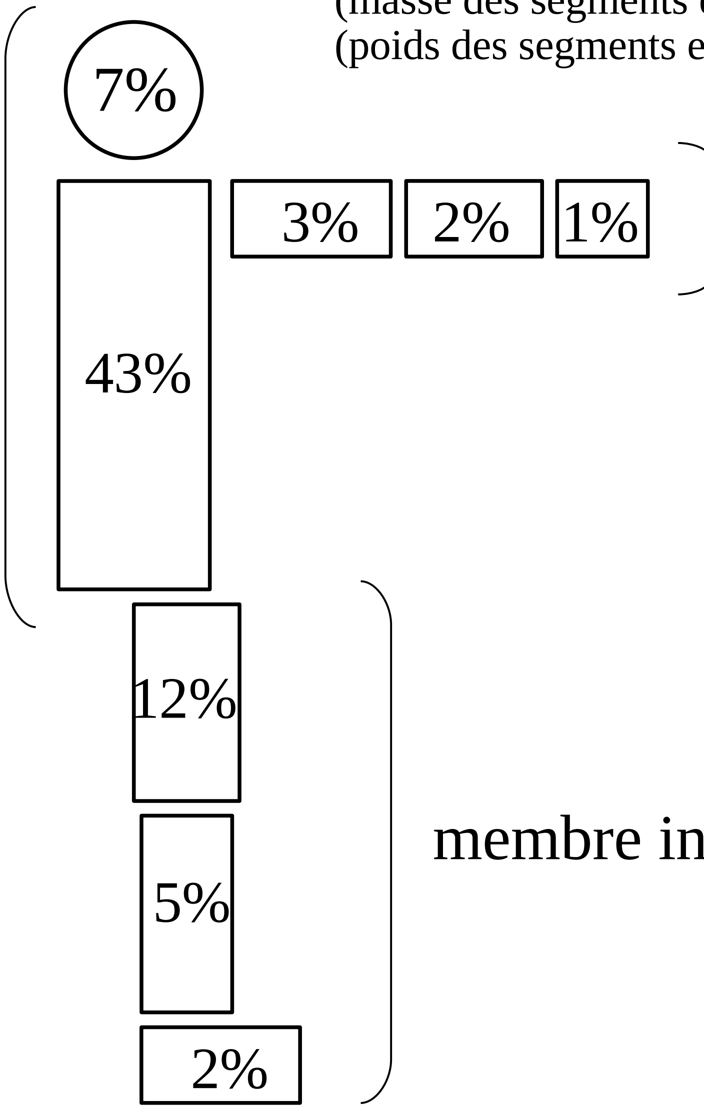
→ pour plus de précision : se référer aux tables des ouvrages donnés en référence

2-Centre de gravité

2.6-Masses segmentaires chez l'humain

(masse des segments en % par rapport à masse totale corps)
(poids des segments en % par rapport au poids total corps) (g=10m/s²)

tête & tronc : 50 %



membre supérieur : 6 %

membre inférieur : 19 %

→ pour plus de précision : se référer aux tables des ouvrages donnés en référence

2-Centre de gravité

2.7-Application : recherche emplacement CG humain

Ex : recherche du CG d’un membre inférieur dans une position donnée

2-Centre de gravité

2.8-Position du CG global du corps chez l’humain

En position anatomique :

→CG global du corps situé dans le bassin

→ventralement (antérieurement) à S1/S2 (promontoire)

Position CG varie en fonction :

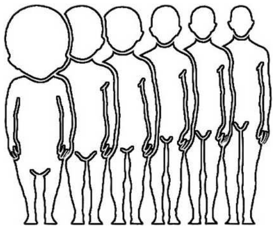
-type morphologique

-degré d’adiposité

-sexe (plus bas chez femme que homme)

-croissance (plus bas chez adulte que enfant)

-position du corps



→quel impact du déplacement d’un segment sur l’emplacement du CG global ?

→le CG global s’élève si on lève les bras

→le CG global se déplace dans le même sens que le CG du segment qui se déplace, d’une quantité proportionnelle au rapport des masses: segment/corps

3-Mouvement des solides – moment de force
3.1-Translation et rotation

Pour connaître les mouvements de translation d'un solide :

→ il suffit d'étudier les mouvements du CG

Mais...

que font les « autres points » du solide pendant la translation du CG ?

...peut-être des mouvements de rotation ?

Pour savoir s'il y a des mouvements de rotation

→ nécessaire d'introduire une nouvelle grandeur

→ le <u>moment de force</u>

3-Mouvement des solides – moment de force
3.1-Translation et rotation

Retour sur les points constituant le solide :

- -CG
  - → mouvements de translation
    - → étudiés via :
      - -les forces extérieures
      - -la somme des forces extérieures $\boxed{\Sigma\ \overrightarrow{Fext}}$
- -«autres points»
  - → mouvements de rotation
    - → étudiés via :
      - -les moments des forces extérieures
      - -la somme des moments des forces extérieures $\boxed{\Sigma\ \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}}}$

Écrit à la main, le « M » est une majuscule cursive : $\Sigma \overrightarrow{\mathscr{M}_o \overrightarrow{Fext}}$

3-Mouvement des solides – moment de force
3.1-Translation et rotation

Le couple :

somme des forces extérieures

$\boxed{\Sigma \overrightarrow{Fext}}$

somme des moments des forces extérieures

$\boxed{\Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}}}$

constitue le torseur force

(objet mathématique constitué de deux champs vectoriels)

noté :

$$\left[\Sigma \overrightarrow{Fext} \;\; ; \;\; \Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}} \right]$$

3-Mouvement des solides – moment de force
3.1-Translation et rotation

$$\left[\Sigma \overrightarrow{Fext} \;\; ; \;\; \Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}} \right]$$

2 cas :

- $\Sigma \overrightarrow{Fext} = \vec{0}$

→ 1er principe

→ état de mouvement de translation conservé

- $\Sigma \overrightarrow{Fext} \neq \vec{0}$

→ 2e principe

→ état de mouvement de translation non conservé

→ présence d'une accélération de translation du fait de la présence d'une force nette

2 cas :

- $\Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}} = \vec{0}$

→ 1er principe

→ état de mouvement de rotation conservé

- $\Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}} \neq \vec{0}$

→ 2e principe

→ état de mouvement de rotation non conservé

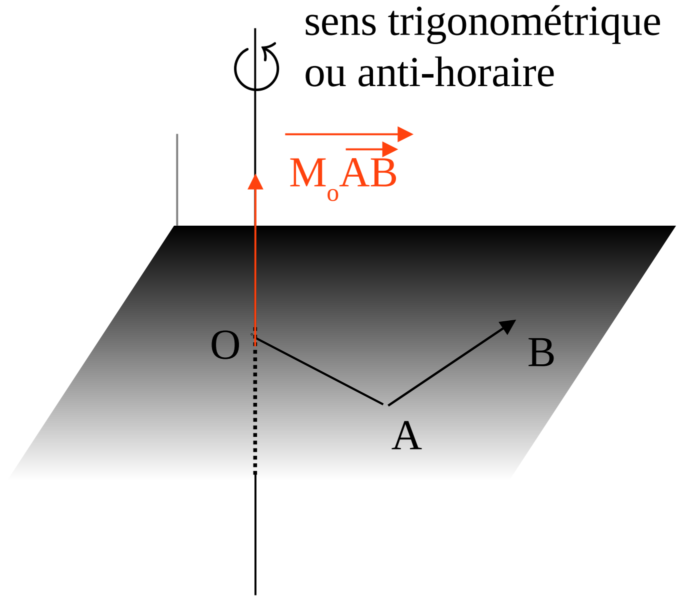
→ présence d'une accélération de rotation du fait de la présence d'un moment de force net

(nommée accélération rotatoire ou angulaire)

3-Mouvement des solides – moment de force
3.2-Moment de force

-grandeur vectorielle : vecteur libre

-s'exprime pour une force (ex : $\overrightarrow{AB}$ qui correspond à un vecteur glissant) par rapport à un point où se trouve un axe de rotation (ex : O)



-se note : $\overrightarrow{M_o\overrightarrow{AB}}$

-correspond à un produit vectoriel : $\overrightarrow{Mo\overrightarrow{AB}} = \overrightarrow{OA} \wedge \overrightarrow{AB}$

-caractéristiques : (diapositive suivante!)

3-Mouvement des solides – moment de force

3.2-Moment de force

$\overrightarrow{OA}$ majeur
$\overrightarrow{AB}$ index
$\overrightarrow{Moment}$ pouce

-caractéristiques :

.origine : inutile à préciser car le moment de force est un vecteur libre

.direction: perpendiculaire au plan contenant $\overrightarrow{OA}$ et $\overrightarrow{AB}$

.sens: direct *(règle du tire bouchon ou bonhomme d'Ampère ou des trois doigts de la main gauche)*

→ moyen simple pour trouver le sens :

-imaginer que $\overrightarrow{OA}$ est une barre posée sur une table pouvant tourner autour d'un axe perpendiculaire à cette table et passant par O

-imaginer que $\overrightarrow{AB}$ est une force s'exerçant, selon le plan de la table, sur cette barre en A

→ cette force $\overrightarrow{AB}$ peut faire tourner la barre :

.soit sens anti-horaire (↺) ou sens trigonométrique $\odot$ (pointe flèche vient vers nous)

.soit sens horaire (↻) $\otimes$ (arrière flèche s'éloigne de nous)

.module:

→ s'exprime en Newton.mètre ou N.m

→ correspond à l'aire du parallélogramme défini par $\overrightarrow{OA}$ et $\overrightarrow{AB}$

(aire parallélogramme = base x hauteur)

→ $\|\overrightarrow{Mo\overrightarrow{AB}}\| = OA\ .\ AB\ .\ \sin \widehat{OAB}$

(si la force AB glisse sur son support, l'aire du parallélogramme ne change pas, le module ne change pas par contre si AB est libre, l'aire et donc le module changent !)

3-Mouvement des solides – moment de force
3.3-Procédure de résolution de problème

-système

-référentiel

-forces en présence (origine, direction, sens, module)

-état du système / principes de Newton

→ en translation

.selon les x et étude de la somme des forces s'exerçant selon les x : $\Sigma\vec{F}x$

.selon les y et étude de la somme des forces s'exerçant selon les y : $\Sigma\vec{F}y$

→ en rotation

.caractéristiques de tous les moments de force par rapport à un axe de rotation choisi en un point judicieux ! (point d'origine de la force qui présente le plus d'inconnues)

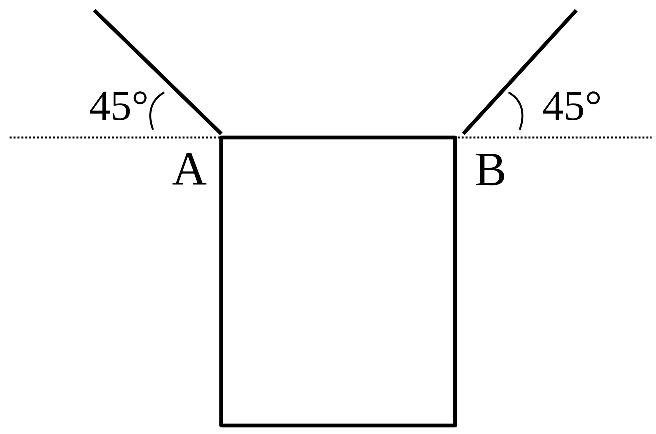
.étude de la somme des moments des forces $\Sigma\overrightarrow{M_o\vec{F}}$

-résolution numérique

-conclusions pratiques

3-Mouvement des solides – moment de force
3.4-Exercice d'application

Un cadre à l'équilibre est suspendu par deux liens dont les positions sont symétriques, ces liens font un angle de 45° avec l'horizontale (comme illustré)



Question 1 : Déterminer le poids, puis la masse du cadre

Question 2 : À quel endroit la droite support du poids (c'est à dire, la ligne de gravité) coupe-t-elle le segment [AB] ?

3-Mouvement des solides – moment de force
3.5-Analogie de vocabulaire entre moments et leviers

La notion de levier :

- -est désuète en physique
- -est utilisée en biomécanique

Que représentent les notions de :

- -longueur de levier
- -angle d'incidence
- -bras de levier

?

3-Mouvement des solides – moment de force

3.6-Notions de composantes tangentielle et radiale d'une force

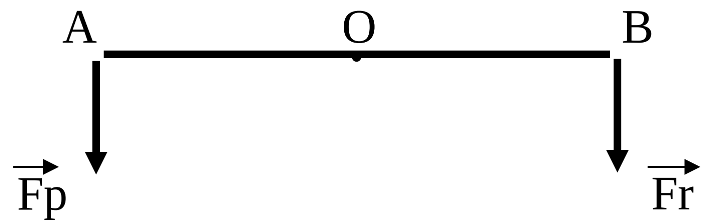
Pour trouver les composantes tangentielle et radiale d'une force :

→ décomposer la force en ses deux composantes :

- -composante s'exerçant perpendiculairement à la longueur de levier
  - -c'est la composante tangentielle
    - → effet dans la rotation horaire ou anti-horaire
    - → pas d'effet longitudinal de compression/décompression ou coaptation/décoaptation
- -composante s'exerçant selon la longueur de levier
  - -c'est la composante radiale
    - → pas d'effet dans la rotation horaire ou anti-horaire
    - → effet longitudinal de compression/décompression ou coaptation/décoaptation

3-Mouvement des solides – moment de force
3.7-Les leviers et le corps humain
3.7.1-Qu'est-ce qu'un système de leviers ?

Un système de leviers comprend :



- -une barre rigide [AB]
- -un point pivot O
- -deux forces ayant des effets contraires dans la rotation :
  - -force motrice ou puissance $\overrightarrow{Fp}$ d'origine A
  - -force résistante ou résistance $\overrightarrow{Fr}$ d'origine B

→ donc : 3 points, A, B, O, déterminant les branches du levier :

- -branche [OA] : branche de la puissance
- -branche [OB] : branche de la résistance

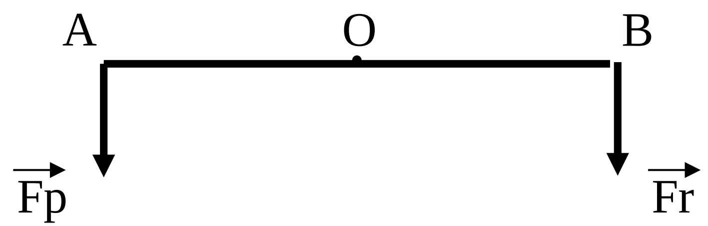
Remarque : résultante de $\overrightarrow{Fp}$ et $\overrightarrow{Fr}$; réaction en O et translation

3-Mouvement des solides – moment de force

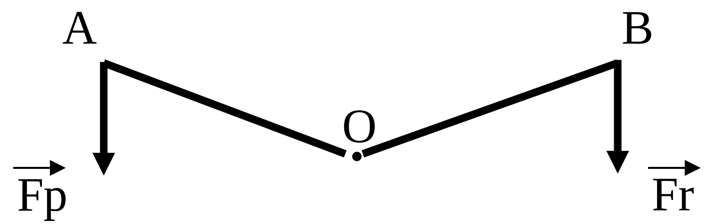
3.7-Les leviers et le corps humain

3.7.1-Qu’est-ce qu’un système de leviers ?

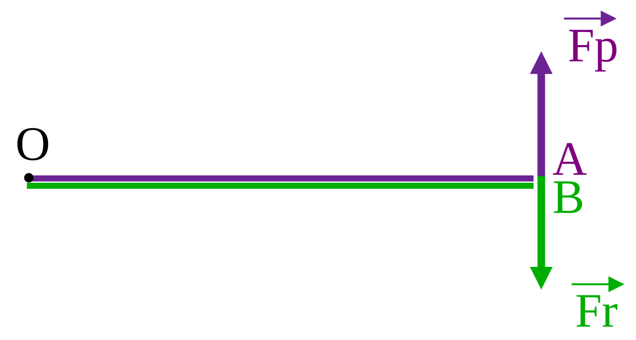
→ l’angle entre les deux branches peut être de 180° : levier droit



→ l’angle entre les deux branches peut être compris entre 0° et 180° : levier coudé



→ l’angle entre les deux branches peut être de 0° : levier droit



Remarque : les branches peuvent avoir diverses longueurs

3-Mouvement des solides – moment de force
3.7-Les leviers et le corps humain
3.7.2-Transposition des leviers au corps humain

Le plus souvent (donc pas toujours!) :

-barre rigide → segment osseux (ou plusieurs rendus rigides par co-contrations musculaires)

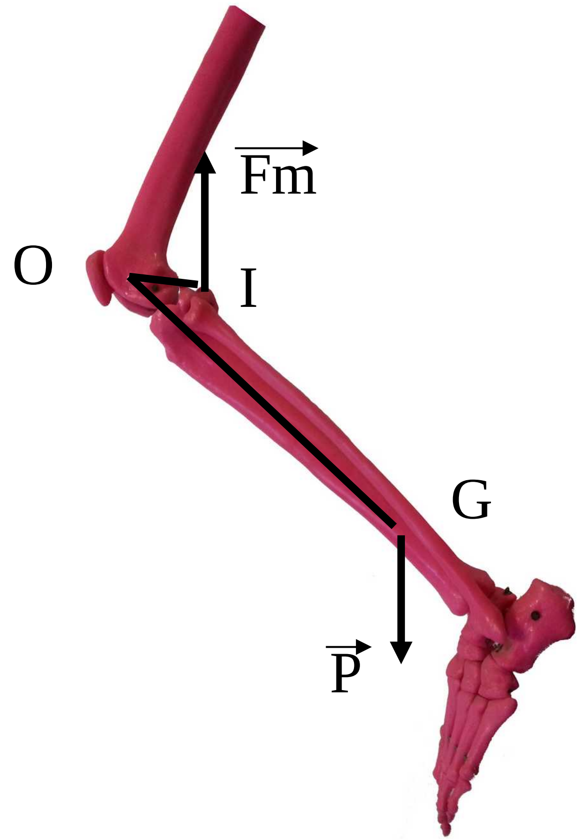
-pivot → articulation O

-force motrice ou puissance → force musculaire $\overrightarrow{Fm}$ de point d'application I

-force résistante ou résistance → poids $\overrightarrow{P}$ de point d'application G

3-Mouvement des solides – moment de force
3.7-Les leviers et le corps humain
3.7.3-Transformation d’une partie anatomique en levier

Ex : mouvement de rotation de la jambe autour du genou, flexion ou extension ?



3-Mouvement des solides – moment de force
3.8-Différents genres de leviers

Trois genres de leviers existent...

...selon la disposition des trois points du levier :

-pivot (O)

-point d’application (I) de la force motrice ($\vec{Fm}$)

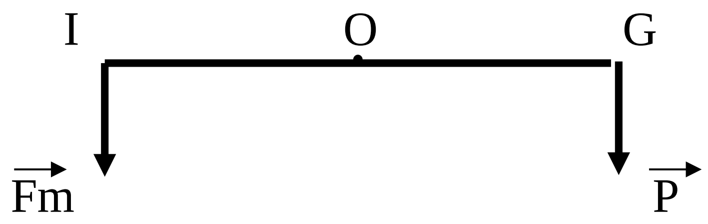
-point d’application (G) de la force résistante ($\vec{P}$)

3-Mouvement des solides – moment de force

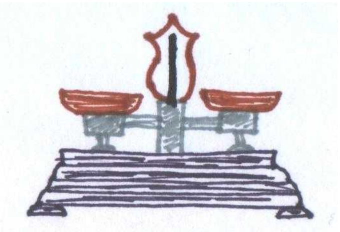
3.8-Différents genres de leviers

3.8.1-Levier du premier genre ou inter-appui ou d'équilibre

→le pivot est entre les points d'application des forces
(force motrice et force résistante)



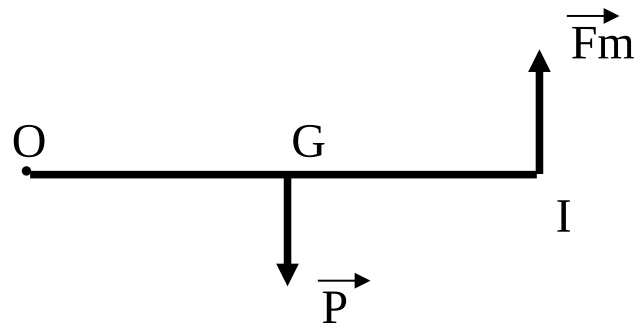
Ex : balance de Roberval



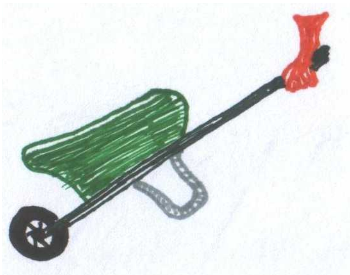
Ex : balance rachidienne

3-Mouvement des solides – moment de force
3.8-Différents genres de leviers
3.8.2-Levier du deuxième genre ou inter-résistant ou de force

→le point d'application de la force résistante se situe entre les deux autres points (point d'application de la force motrice et pivot)



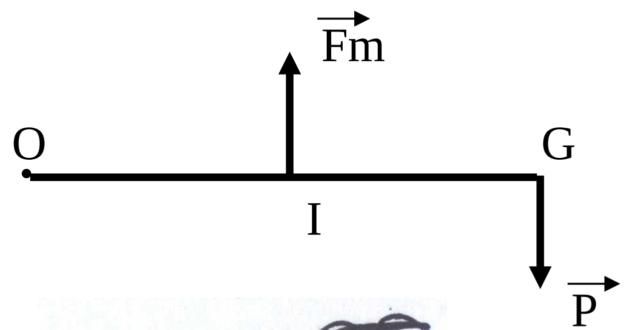
Ex : brouette



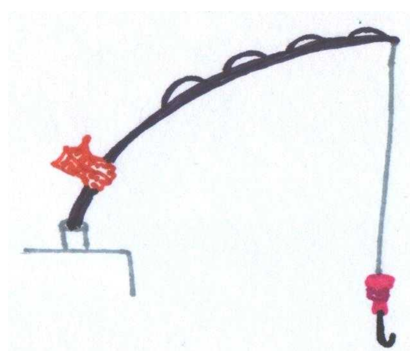
Ex : membre supérieur : brachio-radial ou huméro-stylo-radial ou long suppinateur

3-Mouvement des solides – moment de force
3.8-Différents genres de leviers
3.8.3-Levier du troisième genre ou inter-puissant ou de vitesse ou d’amplitude

→le point d’application de la force motrice se situe entre les deux autres points (point d’application de la force résistante et pivot)



Ex : canne à pêche



Ex : membre supérieur : biceps

4-Coefficients d'inertie
4.1-Quels coefficients d'inertie pour le solide ?

Rappel : définition de l'inertie (voir chapitre « dynamique du point matériel »)

→l'inertie est une capacité/propriété d'un objet

.à conserver son état de mouvement
.à résister à un changement d'état de mouvement
.à conserver sa vitesse
.à résister à un changement de vitesse
.à conserver une accélération nulle
.à résister à l'accélération

4-Coefficients d’inertie
4.1-Quels coefficients d’inertie pour le solide ?

→coefficient d’inertie d’un point matériel : masse (kg)

→coefficient d’inertie d’un solide :

→un solide est fait de deux points :

-centre de gravité (CG)

→coefficient d’inertie du CG renseigne sur la résistance aux changements de mouvements de **translation**

→**masse** m

-« **autres points** »

→coefficient d’inertie des « autres points » renseigne sur la résistance aux changements de mouvements de **rotation**

→**moment d’inertie** I

4-Coefficients d'inertie
4.2-Le moment d'inertie I

-grandeur scalaire

-décrit la répartition de la masse dans l'espace par rapport à un axe de rotation

$$\boxed{I = \sum_i m_i \, r_i^2}$$

moment d'inertie
kg.m²

masses des points constitutifs du solide
kg

distance entre les points constitutifs du solide et l'axe de rotation
m

4-Coefficients d’inertie
4.2-Le moment d’inertie I

$$\boxed{I = \sum_i m_i\, r_i^2}$$

moment d’inertie
$kg.m^2$

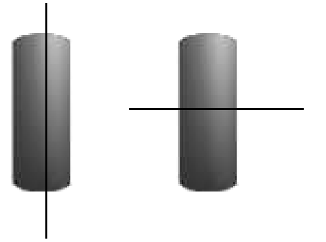
masses des points constitutifs du solide
kg

distance entre les points constitutifs du solide et l’axe de rotation
m

-pour un solide dont la forme et l’emplacement de l’axe de rotation sont définis
→ I d’autant plus grand que la masse est grande

-pour un solide dont la masse et l’emplacement de l’axe de rotation sont définis
→ I d’autant plus grand que les points du solide sont éloignés de l’axe de rotation

-pour un solide dont la forme et la masse sont définis
→ I varie selon l’emplacement de l’axe de rotation



4-Coefficients d’inertie

4.3-Évaluation du moment d’inertie

4.3.1-Le tabouret tournant

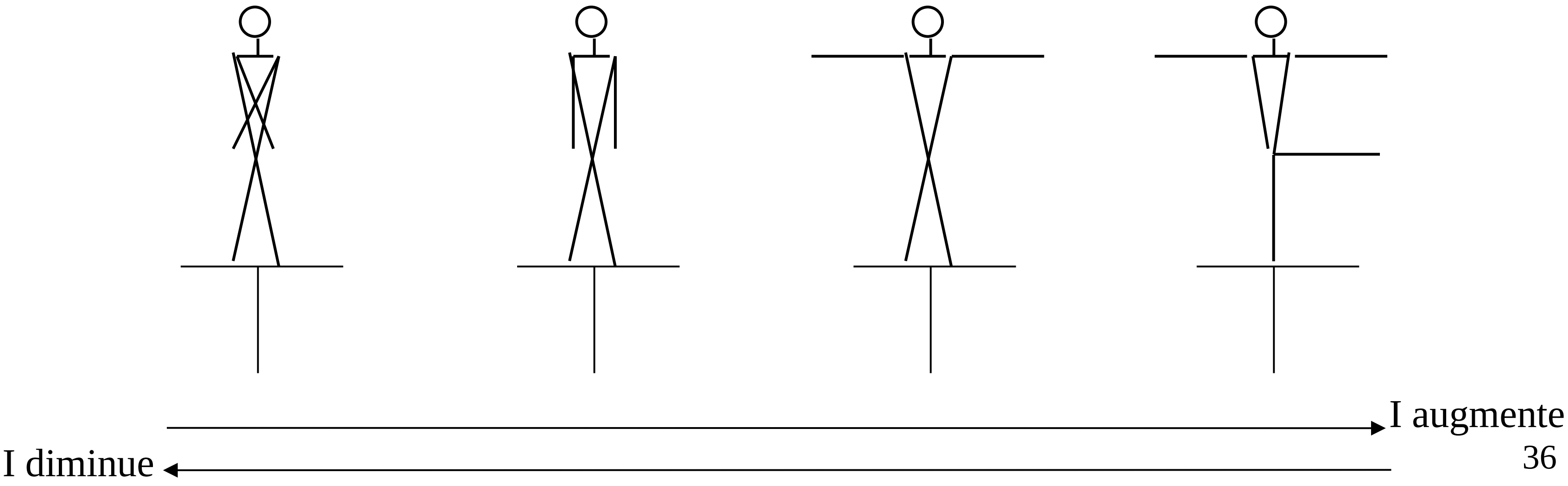
→*les explications seront reprises avec l’introduction de la notion de moment cinétique*

-tabouret mis en rotation, toujours avec la même force

-vitesse de rotation mesurée, toujours après le même temps

→plus I grand, plus résistance rotation grande, plus vitesse rotation faible

→plus I petit, plus résistance rotation faible, plus vitesse rotation grande



4-Coefficients d’inertie
4.3-Évaluation du moment d’inertie
4.3.2-Calcul simplifié pour comparer des situations

Ex : abduction du membre supérieur

→membre supérieur étendu

→membre supérieur fléchi

4-Coefficients d’inertie

4.4-Moment d’inertie et action d’un muscle sur ses segments d’insertion

1er cas : les deux segments ont les mêmes caractéristiques

2e cas : les deux segments n’ont pas les mêmes caractéristiques

Implications :

-un segment est d’autant plus mobilisable que son CG est proche de l’axe de rotation

-un segment est d’autant plus fixe que son CG est éloigné de l’axe de rotation

Ex : course et pivotement du membre inférieur levé

Ex : saut en longueur et pivotement des membres inférieurs

Ex : flexion main / avant-bras et notion contre-prise

Ex : flexion hanche / tronc, espalier et enroulement de la tête

5-Paramètres de mouvement

5.1-Retour sur le torseur force

Le torseur force permet d'étudier l'état de mouvement d'un solide

$$\left[\Sigma \overrightarrow{Fext} \;\; ; \;\; \Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}} \right]$$

si $\Sigma \overrightarrow{Fext} \neq \vec{0}$

→ 2e principe

→ état de mouvement de translation non conservé

$$\Sigma \overrightarrow{Fext} = \underbrace{m \, \overrightarrow{\gamma_{trans}}}$$

si $\Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}} \neq \vec{0}$

→ 2e principe

→ état de mouvement de rotation non conservé

$$\Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}} = \underbrace{I \, \overrightarrow{\gamma_{rot}}}$$

coefficient d'inertie x accélération

autre torseur : <u>torseur dynamique</u> :

$$\left[m \, \overrightarrow{\gamma_{trans}} \;\; ; \;\; I \, \overrightarrow{\gamma_{rot}} \right]$$

5-Paramètres de mouvement
5.1-Retour sur le torseur force

Le torseur force permet d'étudier l'état de mouvement d'un solide

$$\left[\Sigma \overrightarrow{Fext} \;;\; \Sigma \overrightarrow{M_o\overrightarrow{Fext}}\right]$$

si $\Sigma \overrightarrow{Fext} = \vec{0}$

→ 1er principe

→ état de mouvement de translation conservé

-soit repos translation :

→ v = 0 m/s

-soit mouvement translation :

→ v = constante ≠ 0 m/s

si $\Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}} = \vec{0}$

→ 1er principe

→ état de mouvement de rotation conservé

-soit repos rotation :

→ ω = 0 rad/s

-soit mouvement rotation :

→ ω = constante ≠ 0 rad/s

Comment différencier ces deux situations d'équilibre :

repos ou mouvement à vitesse constante ?

→ focus sur les <u>paramètres de mouvement</u> et le <u>torseur cinétique</u>

qui considèrent les vitesses

5-Paramètres de mouvement

5.2-Torseur cinétique, introduction du moment cinétique

$$\left[\begin{array}{ccc} \text{paramètre} & & \text{paramètre de} \\ \text{de mouvement} & ; & \text{mouvement des} \\ \text{du CG} & & \text{« autres points »} \\ \text{du solide} & & \text{du solide} \end{array} \right]$$

→ renseigne sur la translation

→ quantité de mouvement

$$\vec{p} = \underbrace{m}_{\text{coefficient d'inertie}} \; \underbrace{\vec{v}}_{\text{vitesse de translation}}$$

-si repos translation :

→ $p = 0$ kg.m/s

-si mouvement à vitesse de translation constante :

→ p = constante ≠ 0 kg.m/s

→ renseigne sur la rotation

→ moment cinétique

$$\vec{L} = \underbrace{I}_{\text{coefficient d'inertie}} \; \underbrace{\vec{\omega}}_{\text{vitesse de rotation}}$$

-si repos rotation :

→ $L = 0$ kg.m².rad/s

-si mouvement à vitesse de rotation constante :

→ L = constante ≠ 0 kg.m².rad/s

5-Paramètres de mouvement

5.3-Conservation de la quantité de mouvement et du moment cinétique

$\Sigma \overrightarrow{Fext} = m \overrightarrow{\gamma_{trans}}$ 2[e] principe de Newton $\Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}} = I \overrightarrow{\gamma_{rot}}$

et quantité de mouvement

$\vec{p} = m \vec{v}$

comme

$\overrightarrow{\gamma_{trans}} = \dfrac{d\vec{v}}{dt}$ alors $\Sigma \overrightarrow{Fext} = \dfrac{m\, d\vec{v}}{dt}$

et $\Sigma \overrightarrow{Fext} = \dfrac{d\vec{p}}{dt}$

Si système isolé des forces extérieurs

→ équilibre de translation

$\Sigma \overrightarrow{Fext} = \vec{0}$ et $\dfrac{d\vec{p}}{dt} = \vec{0}$

<u>conservation de la quantité de mouvement</u>

si la dérivée de la fonction p est nulle (dp/dt=0), la fonction p est constante

p est une constante
- → nulle si repos translation
- → non nulle quand translation avec v = constante

et moment cinétique

$\vec{L} = I \vec{\omega}$

comme

$\overrightarrow{\gamma_{rot}} = \dfrac{d\vec{\omega}}{dt}$ alors $\Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}} = \dfrac{I\, d\vec{\omega}}{dt}$

et $\Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}} = \dfrac{d\vec{L}}{dt}$

Si système isolé des forces extérieurs

→ équilibre de rotation

$\Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}} = \vec{0}$ et $\dfrac{d\vec{L}}{dt} = \vec{0}$

<u>conservation du moment cinétique</u>

si la dérivée de la fonction L est nulle (dL/dt=0), la fonction L est constante

L est une constante
- → nulle si repos rotation
- → non nulle quand rotation avec ω = constante

5-Paramètres de mouvement

5.4-Remarque sur le solide déformable

si $\Sigma \overrightarrow{Fext} = \vec{0}$

alors p = mv = constante

Si le solide se déforme

→ la masse étant conservée

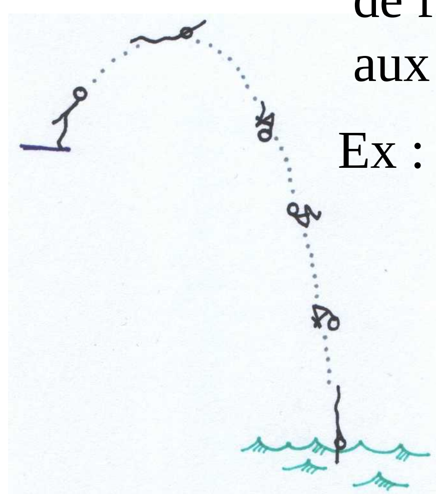
→ comme p = constante

→ la vitesse de translation est conservée

Les déformations du solide ne changent pas la trajectoire du solide

→ si il y a une rotation elle se fait autour d'un axe passant par le CG

(sinon le CG quitterait sa trajectoire!)



si $\Sigma \overrightarrow{M_o \overrightarrow{Fext}} = \vec{0}$

alors L = Iω = constante

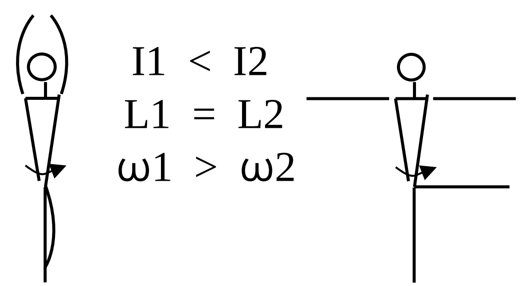
Si le solide se déforme

→ I varie (I=mr², ici r change)

→ comme L = constante

→ la vitesse de rotation varie de façon inversement proportionnelle aux variations de I

Ex : patineur (sans frottements)



Ex : plongeur

Ex : tabouret tournant

5-Paramètres de mouvement
5.5-Poussée centrée, poussée excentrée

Une poussée peut déclencher un mouvement

→poussée centrée

-la droite support passe par le centre de gravité

-détermine un mouvement de translation

→poussée excentrée

-la droite support ne passe pas par le centre de gravité

-détermine un mouvement de rotation et éventuellement un mouvement de translation

6-Énergie cinétique de rotation

$$\boxed{Ec_{rotation} = \frac{1}{2} I \omega^2}$$

énergie cinétique de rotation Joules (N.m)

moment d'inertie kg.m²

vitesse de rotation ou vitesse angulaire rad/s