III. Muscles et biomécanique articulaire

1. Moment de force musculaire autour d'une articulation
2. Interaction entre les segments
3. Puissance musculaire
4. Action groupée des muscles

Le muscle (rappel):

Moteur interne du corps humain (générateur de tension) :
Capacité de changer de longueur / longueur de repos (jusqu'à 70%)

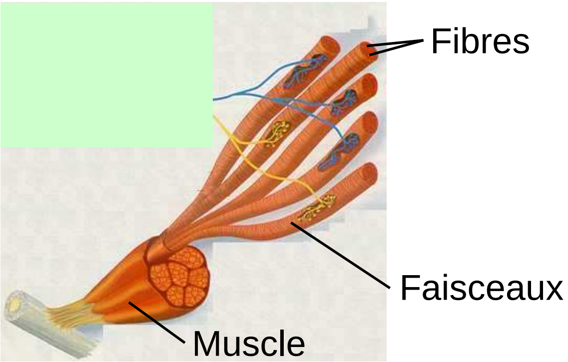
Pour agir le muscle doit croiser une articulation

Le muscle a seulement la capacité de tirer

Composition du muscle

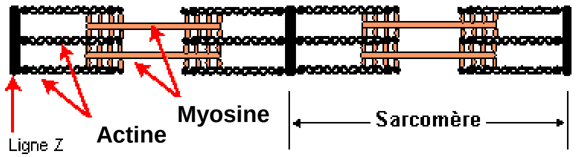
- Fibres musculaires : cellules contractiles (contraction -> force)
- fibres regroupées en faisceau.
- Les faisceaux, enveloppés dans gaine de tissu conjonctif.

- Dans les cellules musculaires :
  - Assemblage de proteines filamenteuses
    - **Actine + myosine (sarcomère)**
    - Myosine genere le déplacement des filaments d'actine
    - Ce déplacement crée la **contraction** des fibres musculaires



Dans les cellules musculaires (Fibres) :

le sarcomère

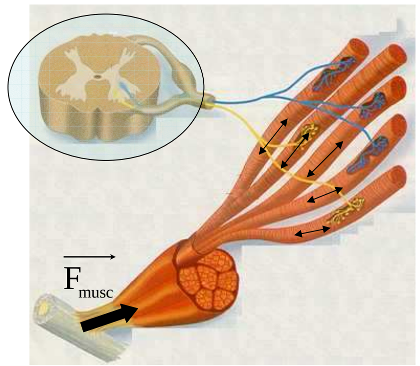


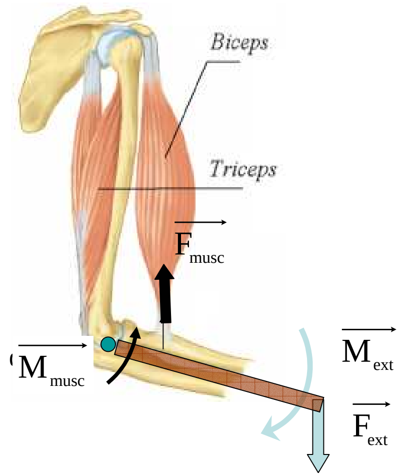
Le mouvement Humain:

Du cerveau …

La contraction des muscles est commandée par des signaux élctriques qui sont envoyés par le cerveau ou la moëlle épinière et qui transitent par les nerfs

… aux muscles

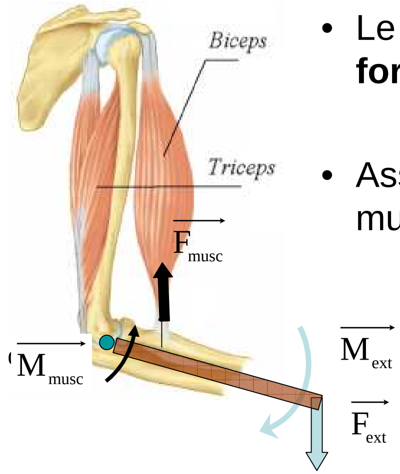




Système nerveux

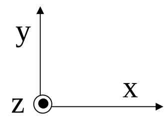
- Le cerveau commande les contractions volontaires des muscles
- la moelle épinière commande les réflexes involontaires
- le faisceau pyramidal est composé des fibres nerveuses qui vont du cortex cérébral jusqu'à la moëlle épinière.

Force et Moment de force



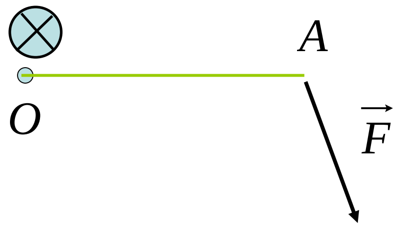
- Le muscle génére une **force de tension**
- Associé à une articulation, le muscle crée un **moment de force**

Le moment d'une force et produit vectoriel (rappel)



$$\vec{M}_O(\vec{F}) = \overrightarrow{OA} \wedge \vec{F}$$

$$\vec{M}_O(\vec{F}) = \overrightarrow{OA} \wedge \vec{F}$$



Règle de la main droite :

Pouce : (OA)

Index : Force (F)

Majeur : Moment (M)

Propriétés :

$$\vec{M}_A(\vec{F}) = \vec{0}$$

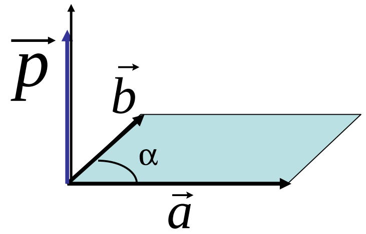
Produit vectoriel (rappel):

$$\vec{a} \wedge \vec{b} = \vec{p}$$

$$\vec{p} \perp (\vec{a}, \vec{b}) \qquad (\vec{a}, \vec{b}, \vec{p})$$

Forme un trièdre direct (règle des 3 doigts)

$$p = a * b * |\sin\alpha|$$

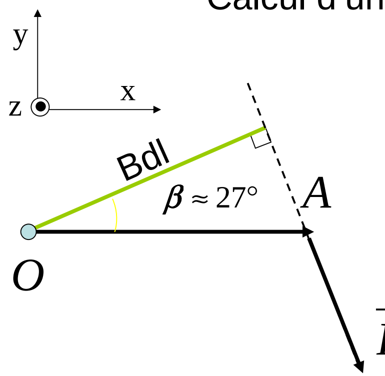


Le résultat d'un produit vectoriel est un vecteur

Expression analytique du produit vectoriel

$$\begin{array}{ccccc} \vec{a} & & \vec{b} & & \vec{p} \\ \begin{Bmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \end{Bmatrix} & \wedge & \begin{Bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{Bmatrix} & = & \begin{Bmatrix} y_a z_b - y_b z_a \\ z_a x_b - z_b x_a \\ x_a y_b - x_b y_a \end{Bmatrix} \end{array}$$

Calcul d'un moment de force



$$\overrightarrow{OA} \begin{vmatrix} 0.5 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \wedge \vec{F} \begin{vmatrix} 5 \\ -10 \\ 0 \end{vmatrix} = \overrightarrow{M}_{\vec{F}/O} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -5 \end{vmatrix}$$

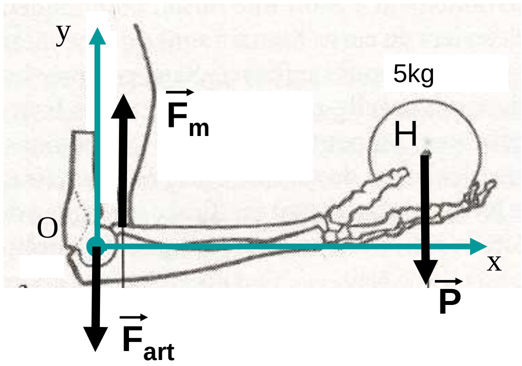
$$\left\|\overrightarrow{M}_{\vec{F}/O}\right\| = \sqrt{0^2 + 0^2 + (-5)^2} = 5\mathrm{N.m}$$

$$\mathrm{Bdl} = \sqrt{0.5^2 + 0^2 + 0^2} \times \cos 27° = 0.445$$

$$\left\|\overrightarrow{M}_{\vec{F}/O}\right\| = \mathrm{Bdl} \times \sqrt{5^2 + 10^2 + 0^2} = 5\mathrm{N.m}$$

$$\boxed{\left\|\overrightarrow{M}_{\vec{F}/O}\right\| = \mathrm{Bdl} \times \left\|\vec{F}\right\| = 5\mathrm{N.m}}$$

Quantification du moment musculaire

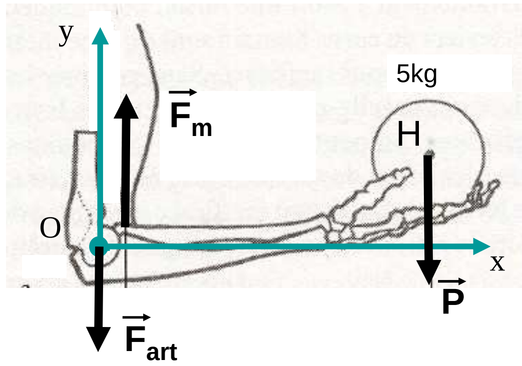


$\vec{F}m$: Force du muscle (biceps)

$\vec{P}$: Poids de la boule

$\vec{F}art$: Force articulaire

Quantification du moment musculaire



$\vec{F}m$: Force du muscle (biceps)

$\vec{P}$: Poids de la boule

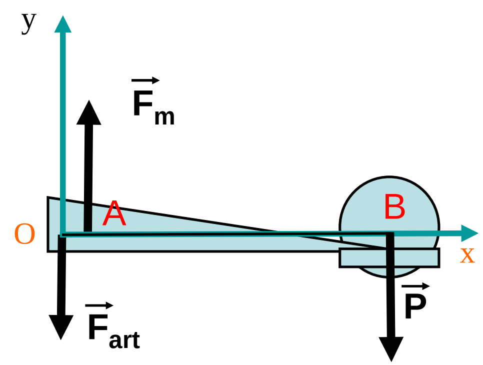
$\vec{F}art$: Force articulaire

A l'équilibre :

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \vec{Fm} + \vec{P} + \vec{Fart} = \vec{0}$$

$$\sum \vec{M}_{\vec{F}/O} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \vec{M}_{\vec{Fm}/O} + \vec{M}_{\vec{P}/O} + \vec{M}_{\vec{Fart}/O} = \vec{0}$$

Quantification du moment musculaire



$\vec{F}m$: Force du muscle (biceps)

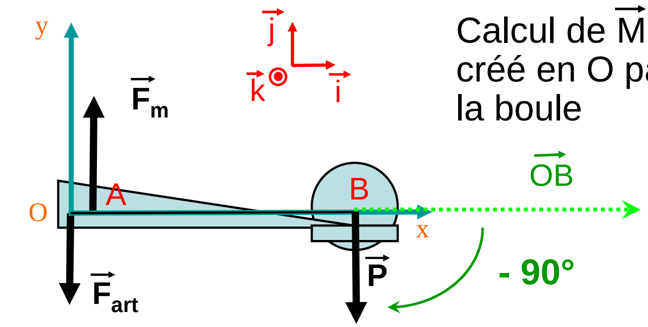
$\vec{P}$: Poids de la boule

$\vec{F}art$: Force articulaire

A l'équilibre :

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \vec{Fm} + \vec{P} + \vec{Fart} = \vec{0}$$

$$\sum \vec{M}_{\vec{F}/O} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \vec{M}_{\vec{Fm}/O} + \vec{M}_{\vec{P}/O} + \vec{M}_{\vec{Fart}/O} = \vec{0}$$

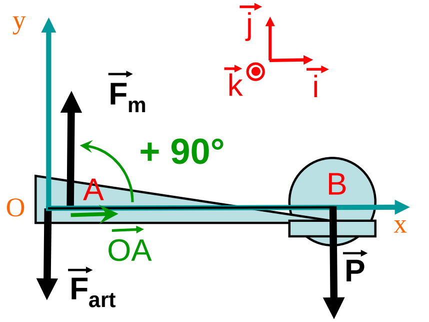


Calcul de $\vec{M}_{P/O}$: moment créé en O par le poids de la boule

$\vec{M}_{P/O} = \vec{OB} \wedge \vec{P}$ donc $\vec{M}_{P/O} \perp \vec{OB}$ et $\vec{P}$
donc $\vec{M}_{P/O} \perp$ plan de la page (= (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$))
donc $\vec{M}_{P/O}$ // $\vec{k}$

$\vec{M}_{P/O}$ = OB.P. sin (-90°) . $\vec{K}$
= - OB . P . sin 90°. $\vec{k}$
= - OB . P . $\vec{k}$
($\vec{M}_{P/O}$ « rentre dans la feuille »)

Ici pour connaitre l'orientation de $\vec{M}_{P/O}$ on utilise le sens de l'angle entre OB et P ou la règle des trois doigts de la main droite



Calcul de $\vec{M}_{Fm/O}$:
moment créé en O par
le biceps

$\vec{M}_{Fm/O} = \vec{OA} \wedge \vec{F}_m$ donc $\vec{M}_{Fm/O} \perp \vec{OA}$ et $\vec{F}_m$

donc $\vec{M}_{Fm/O} \perp$ plan de la page (= (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$))

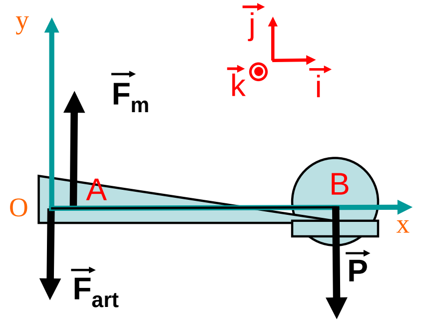
donc $\vec{M}_{Fm/O} \,//\, \vec{k}$

$\vec{M}_{Fm/O} = OA.F_m.\ \sin(90°)\ .\ \vec{k}$

$= OA\ .\ F_m.\ \sin 90°.\ \vec{k}$

$= OA\ .\ F_m\ .\ \vec{k}$

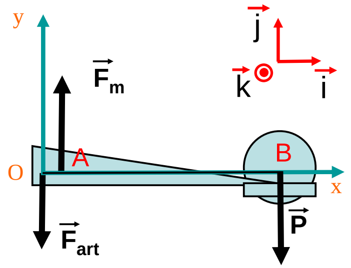
Ici pour connaitre l'orientation de $\vec{M}_{Fm/O}$ on utilise le sens de l'angle entre OA et Fm ou la règle des trois doigts de la main droite



Calcul de $\vec{M}_{Fart/O}$:
moment créé en O par
la force articulaire

$\vec{F}_{art}$ est appliquée en O donc $\vec{M}_{Fart/O} = \vec{0}$

Retour à l'équation d'équilibre



$$\textit{A l'équilibre:}$$

$$\sum \vec{M}_{\vec{F}/O} = \vec{0}$$

$$\vec{M}_{\vec{Fm}/O} + \vec{M}_{\vec{P}/O} + \vec{M}_{\vec{Fart}/O} = \vec{0}$$

$\vec{M}_{Fm/O} = OA\ .\ F_m\ .\ \vec{k}$

$\vec{M}_{P/O} = -\ OB\ .\ P\ .\ \vec{k}$

$\vec{M}_{Fart/O} = \vec{0}$

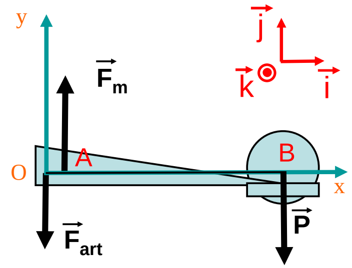
OA = 3 cm
OB = 36 cm
m = 5 kg
P = 5 x 9,81
= 49 N

⇨ $(OA\ .\ F_m .-\ OB\ .\ P\ )\ \vec{k} = \vec{0}$

⇨ $OA\ .\ F_m .-\ OB\ .\ P = 0$

⇨ $F_m = OB/OA\ .\ P = 36/3 \times 49 = 12 \times 49 =$ **600 N**

Quantification du moment musculaire



$$\textit{A l'équilibre:}$$

$$\sum \vec{M}_{\vec{F}/O} = \vec{0}$$

$$\vec{M}_{\vec{Fm}/O} + \vec{M}_{\vec{P}/O} + \vec{M}_{\vec{Fart}/O} = \vec{0}$$

$F_m = 12 \times P = 12 \times 49 =$ **600 N**

$\vec{M}_{Fm/O} = OA\ .\ F_m\ .\ \vec{k}$

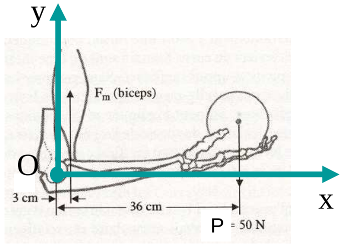
$= 0{,}03 \times 600\ .\ \vec{k} = \mathbf{18\ .}\ \vec{k}$

OA = 3 cm
OB = 36 cm
m = 5 kg
P = 5 x 9,81
= 49 N

⇨ $\vec{\mathbf{F}}_{\mathbf{m}} \left| \begin{array}{l} \mathbf{0} \\ \mathbf{600\ N} \\ \mathbf{0} \end{array} \right.$ $\qquad$ $\vec{\mathbf{M}}_{\mathbf{Fm/O}} \left| \begin{array}{l} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{18\ N.m} \end{array} \right.$

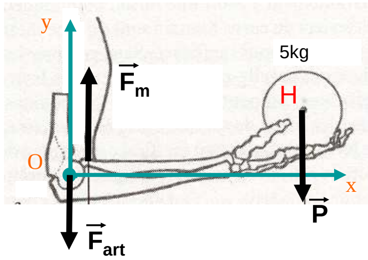
Estimation d'une force musculaire

$F_m = 12.\ P = 600$ N



La force musculaire est ≈ 12 fois plus grande que la charge à maintenir !

Estimation de la Force articulaire F_{art}



$$A \text{ l'équilibre}:$$

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

$$\vec{Fm} + \vec{P} + \vec{Fart} = \vec{0}$$

Sur y : $F_m - P - F_{art} = 0$

⇨ $F_{art} = F_m - P$

⇨ $\mathbf{F_{art}} = 600 - 49 =$ **551 N**

⇨ $\vec{F}_{art} \left| \begin{array}{l} \mathbf{0} \\ \mathbf{-\,551\ N} \\ \mathbf{0} \end{array} \right.$