

Locomotion et Activités Physiques

Production du mouvement

L'agenda / Plan

HORAIRE 1^{ère} année 2025-2026

SEMAINE 23



	Lundi		Mardi		Mercredi		Jeudi		Vendredi	
	23.03.2026		24.03.2026		25.03.2026		26.03.2026		27.03.2026	
08h15-09h00					Chimie organique 11 S. Matile / J. Viger-Gravel CMU/Champendal		Biomécanique et physiologie de la locomotion S. Armand CMU/Champendal		Chimie organique 12 S. Matile / J. Viger-Gravel CMU/Champendal	
09h15-10h00	Introduction à la locomotion S. Armand CMU/Champendal		Production du mouvement S. Armand CMU/Champendal							
10h15-11h00	Métabolisme des triglycérides P. Maechler CMU/Champendal		Physique 21 Physique nucléaire M. Kunz / C. Senatore CMU/Champendal		Contrôle du mouvement S. Armand CMU/Champendal		Cas de liaison Athérosclérose 8 F. Mach CMU/Champendal		Répétitoire immunité innée J. Bertrand / C. Jandus / C. Scheiermann / K. Egervari CMU/Champendal	
11h15-12h00					Biomécanique du membre inférieur S. Armand CMU/Champendal		MFE 5 : Catalogue PROFILES M. Bideau CMU/Champendal		Répétitoire immunité adaptative J. Villard / O. Hartley / S. Hugues CMU/Champendal	
12h15-13h00										

Infos

- **Liens avec autres cours**

- Muscles – S. Koenig
 - <https://moodle.unige.ch/course/view.php?id=3906>
- Anatomie – JY. Beaulieu
 - <https://moodle.unige.ch/course/view.php?id=3926>
- Os – N. Bonnet
 - <https://moodle.unige.ch/course/view.php?id=4228>



- **Speakup**

<https://web.speakup.info/room/join/34071>



- **Quiz - Pingo**

pingo.coactum.de → 248619



- **Rappels**

Notions déjà abordées dans un autre cours



Objectifs

- Connaître les composantes et le fonctionnement de l'appareil locomoteur humain pour la production de mouvement
 - Structure de soutien par le squelette
 - **Bras de levier** assuré par les os
 - Mouvement permis par les articulations
 - **Génération de force par le muscle strié**
 - Transmission de la force par le tendon



Plan

- Os/Squelette
 - Rappel sur structure et fonction
- Articulations
 - Rappel sur structure et fonction
- Muscles (tendons)
 - Rappel sur structure et fonction
 - Mécanique musculaire
 - Importance des bras de levier



Rappel

Notions déjà abordées dans un autre cours



Os

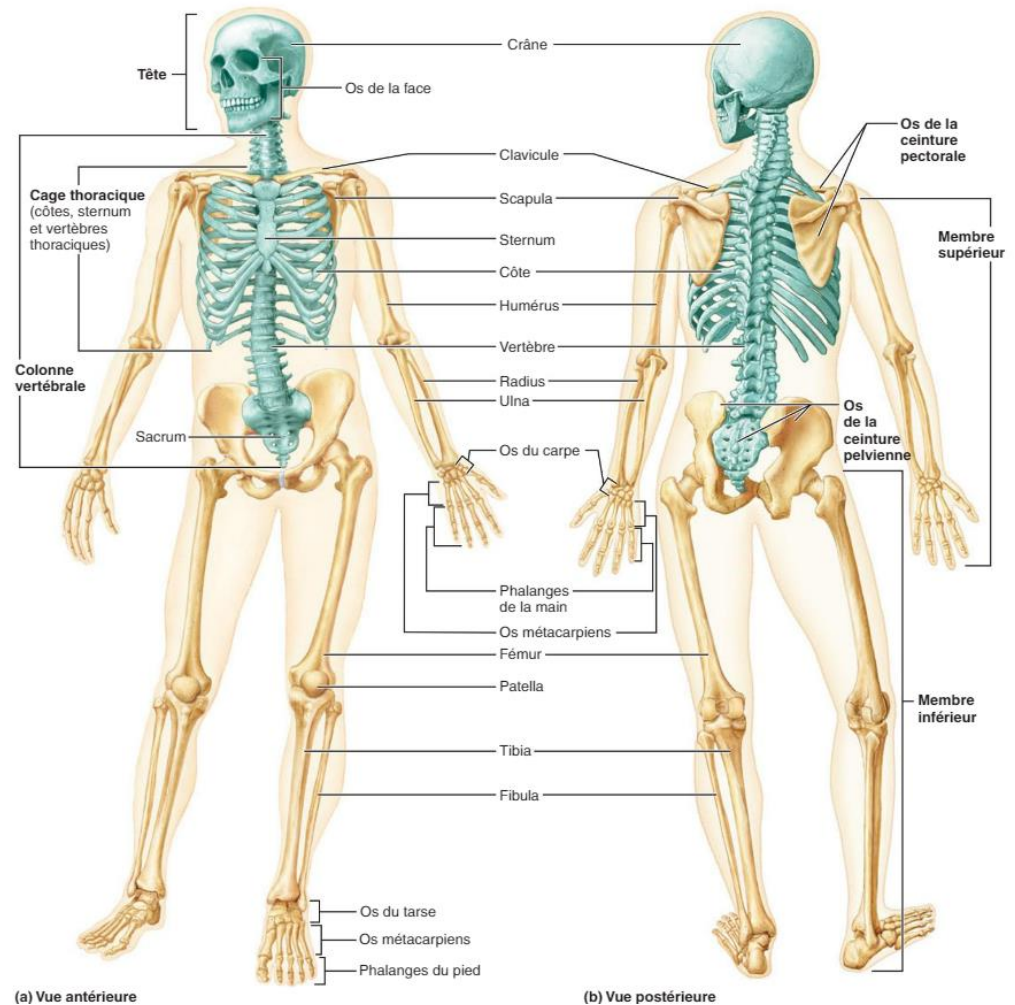
- **Os** : Structure rigide, fortement minéralisée, constituant le **squelette** de l'homme et des vertébrés
- Fonctions :
 - Protection des organes
 - Mécanique par le soutien et le déplacement (ancrage des muscles et organes)
 - Métabolique:
 - Stockage de minéraux (calcium, phosphore)
 - Formation des cellules sanguines (Hématopoïèse)
 - Régulation du taux de calcium dans le sang
- Environ 206 Os chez l'Homme
- Chaque os a une fonction précise (lien structure/fonction)
- Type d'os (longs, courts, plats)
- Architectures (cortical, trabéculaire)
- Adaptations aux contraintes mécaniques





Squelette

- Squelette axial
 - 80 os
 - Support, protection
- Squelette appendiculaire
 - 126 os
 - Interaction avec l'environnement
 - Locomotion
 - Manipuler des objets
- 20% de la masse corporelle

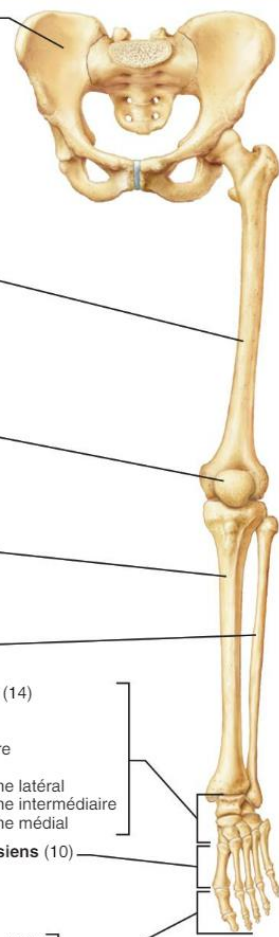


Anatomie et physiologie humaines, Elaine Marieb, Katja Hoehn, 2019



Squelette du membre inférieur

- 4 segments
 - (Bassin)
 - Cuisse
 - Jambe
 - Pied
- Fonctions primaires
 - de supporter le poids du corps lors de la position debout
 - de déplacer le corps dans l'espace (locomotion)

RÉGION DU CORPS	OS*	ILLUSTRATION	SITUATION
Ceinture pelvienne (figures 7.31 et 7.32)	Os coxal (2) (hanche)		Chaque os coxal est constitué par la fusion d'un os ilium, d'un os ischium et d'un os pubis; les os coxaux fusionnent à l'avant au niveau de la symphyse pubienne et forment avec le sacrum, en arrière, l'articulation sacro-iliaque; la ceinture composée par les deux os coxaux présente la forme d'un bassin.
Membre inférieur Cuisse (figure 7.34)	Fémur (2)		Le fémur est l'unique os de la cuisse; entre l'articulation de la hanche et le genou; le plus gros os du corps.
Genou (figure 7.34)	Patella (2)		La patella est un os sésamoïde logé dans le tendon du muscle quadriceps fémoral (à l'avant de la cuisse).
Jambe (figure 7.35)	Tibia (2)		Le tibia est l'os le plus gros et le plus interne de la jambe, entre le genou et le pied.
	Fibula (2)		La fibula est l'os latéral de la jambe; en forme de bâton.
Pied (figure 7.36)	7 os du tarse (14) talus calcaneus os naviculaire os cuboïde os cunéiforme latéral os cunéiforme intermédiaire os cunéiforme médial		Les sept os du tarse forment la partie proximale du pied; le talus se lie aux os de la jambe au niveau de l'articulation de la cheville; le calcaneus, le plus gros os du tarse, forme le talon.
	5 os métatarsiens (10)		Les os métatarsiens forment la plante du pied; cinq os numérotés de I à V à partir du gros orteil.
	14 phalanges (28) proximale moyenne distale	Les phalanges forment les orteils; trois phalanges dans les orteils II à V; deux dans l'orteil I (hallux).	

Vue antérieure de la ceinture pelvienne et du membre inférieur gauche

Rôle os/squelette pour le mouvement

- Soutien structurel
 - Structure solide qui permet le maintien de la posture
- Mobilité
 - Leur forme détermine le mouvement à l'articulation
- Point d'ancrage des muscles
 - Les muscles sont attachés aux os pour permettre leur mouvement
- Transmission de force
 - Os agissent comme des leviers. Muscles et os agissent ensemble pour créer et transmettre les forces nécessaires pour le mouvement

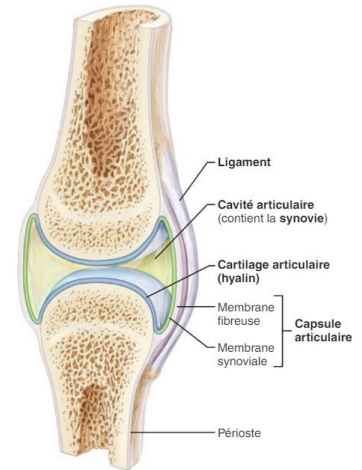
Plan

- Os/Squelette
 - Rappel sur structure et fonction
- Articulations
 - Rappel sur structure et fonction
- Muscles (tendons)
 - Rappel sur structure et fonction
 - Mécanique musculaire
 - Importance des bras de levier



Les articulations

- Définition : Entité anatomique qui correspond à la zone de jonction entre deux extrémités osseuses plus ou moins mobiles l'une par rapport à l'autre
- Fonction : assure la stabilité et la mobilité des éléments du squelette



Anatomie et physiologie humaines, Elaine Marieb, Katja Hoehn, 2019



<https://www.youtube.com/watch?v=9YcR-p-gEM>



Élément constitutif d'une articulation

- Articulation : union des os entre eux
 - **2 pièces osseuses unies par une zone intermédiaire**
 - Le tissu intermédiaire peut se modifier au cours du temps
- Grands types d'articulation selon la mobilité:
 - **Articulation fibreuse** **sans mobilité**
 - **Articulation cartilagineuse** **mobilité restreinte**
 - **Articulation synoviale** **mobilité importante**
 - **Syysarcose** **espace de glissement**





Fonctionnement articulaire

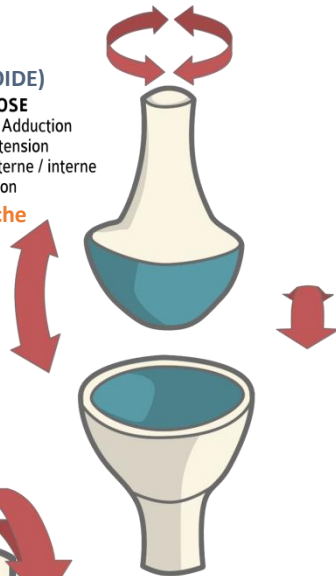
(SPHÉROÏDE)

ENARTHROSE

Abduction / Adduction
Flexion / Extension
Rotation externe / interne
Circumduction

Ex. **Hanche**

3 DDL



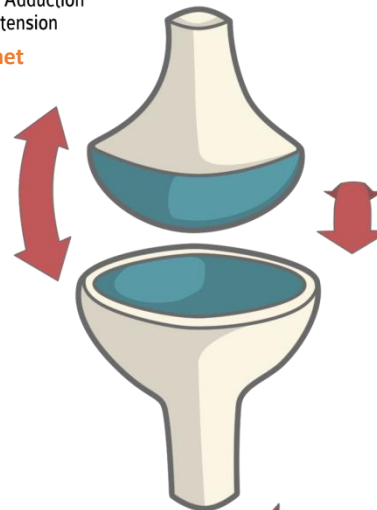
(ELLIPSOÏDE)

CONDYLIENNE

Abduction / Adduction
Flexion / Extension

Ex. **Poignet**

2 DDL



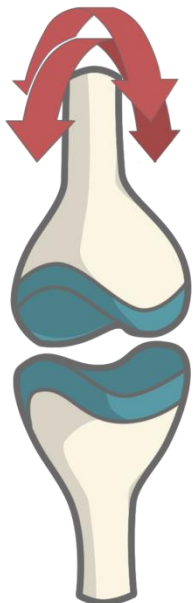
(EMBOÎTEMENT
RÉCIPROQUE)

SELLE

Abduction / Adduction
Flexion / Extension

Ex. **Pouce**

2 DDL



(CYLINDRIQUE)

TROCHOÏDE

Rotation externe / interne

Ex. **Radio-Ulnaire**

1 DDL



(GINGLYME)

TROCHLEENNE

Flexion / Extension

Ex. **Coude**

1 DDL



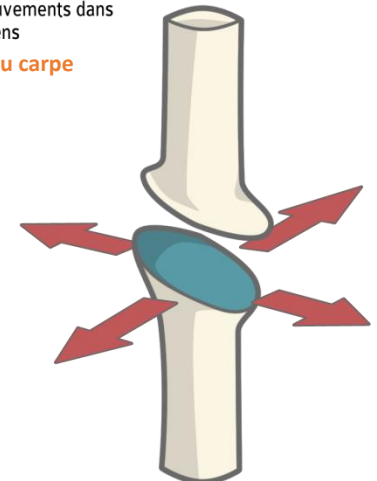
(PLANE)

ARTHROÏDE

Petits mouvements dans
tous les sens

Ex. **Os du carpe**

3 DDL

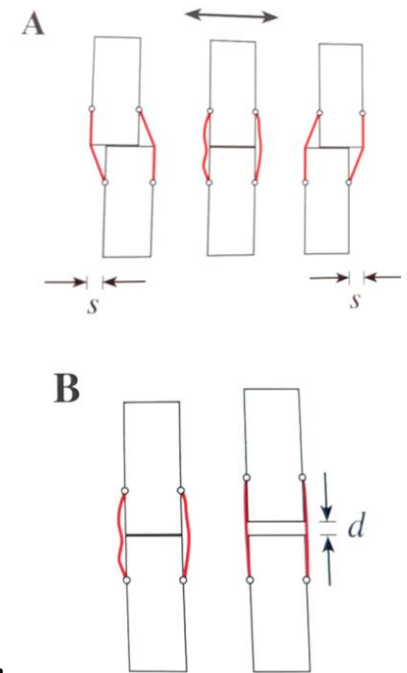


Déterminants du mouvement articulaire

- La forme de l'articulation (surfaces articulaires)
 - Relation forme - fonction
 - Détermine le type de mouvement
- Les structures capsulo-ligamentaires
 - Empêchent les mouvements excessifs
 - Contribuent à la stabilité
- Les tendons et muscles
 - Structures passives / contraction
 - Principaux stabilisateurs

→ Prépondérances différentes des facteurs suivant les articulations

→ Variations individuelles





Articulation – Membre inf. - Locomotion

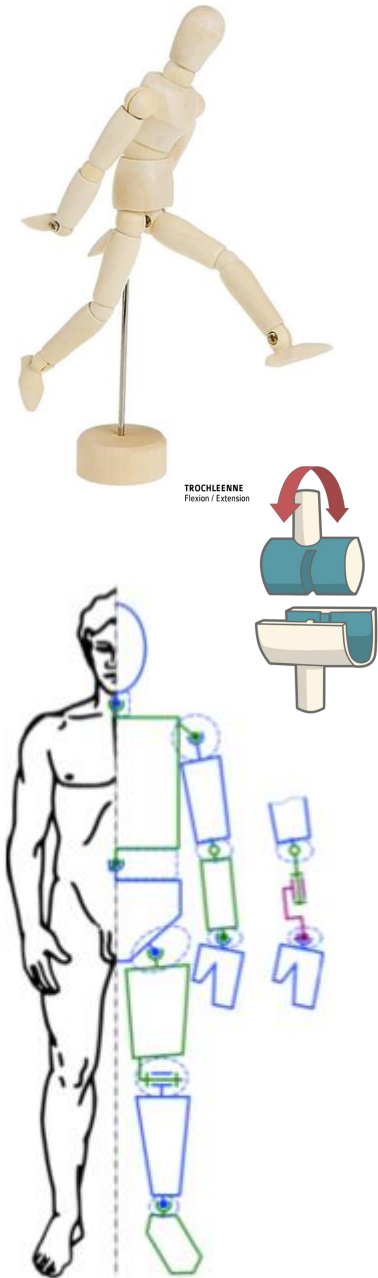
ILLUSTRATION	ARTICULATION	OS QUI S'ARTICULENT	TYPE STRUCTURAL*	TYPE FONCTIONNEL; MOUVEMENTS PERMIS†
	Sacro-iliaque	Sacrum et os coxal	Synoviale; plane durant l'enfance, mais qui devient de plus en plus fibreuse au cours de la vie adulte	Mobile chez l'enfant; semi-mobile chez l'adulte, peu de mouvement, faible glissement possible (augmente au cours de la grossesse)
	Symphyse pubienne	Os pubiens	Cartilagineuse; symphyse	Amphiarthrose; faible mouvement (augmente au cours de la grossesse)
	Coxofémorale (hanche)	Os coxal et fémur	Synoviale; sphéroïde	Mobile; multiaxial; flexion, extension, abduction, adduction, rotation, circumduction de la cuisse
	Femorotibiale (genou)	Fémur et tibia	Synoviale; trochléenne modifiée‡ (comporte des disques articulaires)	Mobile; biaxial; flexion, extension de la jambe, une certaine rotation dans une position fléchie
	Fémoropatellaire (genou)	Fémur et patella	Synoviale; plane	Mobile; glissement de la patella
	Tibiofibulaire supérieure	Tibia et fibula	Synoviale; plane	Mobile; glissement de la fibula
	Tibiofibulaire inférieure	Tibia et fibula	Fibreuse; syndesmose	Immobile; un peu de « jeu » au cours de la dorsiflexion
	Intertarsienne	Os du tarse adjacents	Synoviale; plane	Mobile; glissement; inversion et éversion du pied
	Talocrurale	Tibia et fibula avec le talus	Synoviale; trochléenne	Mobile; uniaxial; dorsiflexion et flexion plantaire du pied
	Tarsométatarsienne	Os du tarse et os métatarsien(s)	Synoviale; plane	Mobile; glissement des os métatarsiens
	Métatarso-phalangienne	Os métatarsien et phalange proximale	Synoviale; condyloïde	Mobile; biaxial; flexion, extension, abduction, adduction, circumduction du gros orteil
Interphalangienne du pied (orteils)	Phalanges adjacentes	Synoviale; trochléenne	Mobile; uniaxial; flexion, extension des orteils	

Rôle des articulations pour le mouvement

- **Stabilité/équilibre**
 - Assurent la stabilité des os entre eux
- **Mobilité**
 - Assurent la mobilité des os entre eux selon certains degrés de libertés
 - Limitent la friction entre les os
- **Absorption de chocs**
 - Certaines articulations (ex. genou) absorbent et répartissent les chocs
- **Transmission de force**
 - Participent à la transmission des forces en lien avec les muscles et les os.

Modélisation os/articulation

- Notion de modèle : représentation simplifiée d'un système qui permet de faciliter son étude et de mieux le comprendre
- Modélisation du système squelettique :
 - Os permettent de modéliser des segments par **des corps rigides**
 - Articulations peuvent être modélisées par des systèmes mécaniques selon les degrés de liberté permis
- Permet d'appliquer les concepts de la mécanique au corps humain



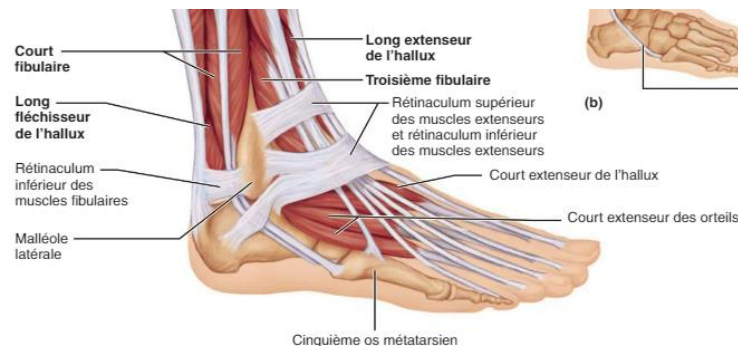
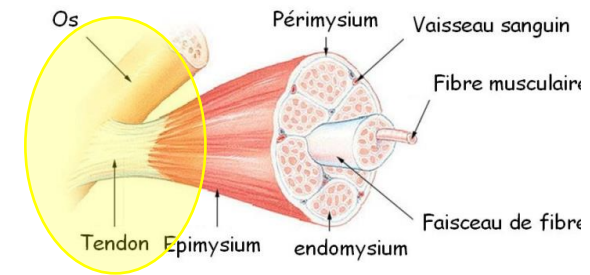
Plan

- Os/Squelette
 - Rappel sur structure et fonction
- Articulations
 - Rappel sur structure et fonction
- Muscles (tendons)
 - Rappel sur structure et fonction
 - Mécanique musculaire
 - Importance des bras de levier



Le tendon

- Définition : tissu qui relie un **muscle à un os**
- Structure : Fibre de collagènes de type I
- Fonction :
 - Transmission de forces
 - Concentre la force du muscle au point d'insertion
 - Stabilisation des articulations
- Peut passer par des tunnels ostéofibreux : comme un câble sur une poulie





Le muscle strié squelettique

- + de 600 muscles, ~40% du poids total
- Mouvement volontaire
- Structure du muscle
- Caractéristiques fonctionnelles
- Couplage excitation contraction
- Notion d'unité motrice
- Type de fibres musculaires
- Origine/Insertion/Ligne d'action
- ...



[Le muscle squelettique: organisation et architecture](#)

Anatomie 3D Lyon

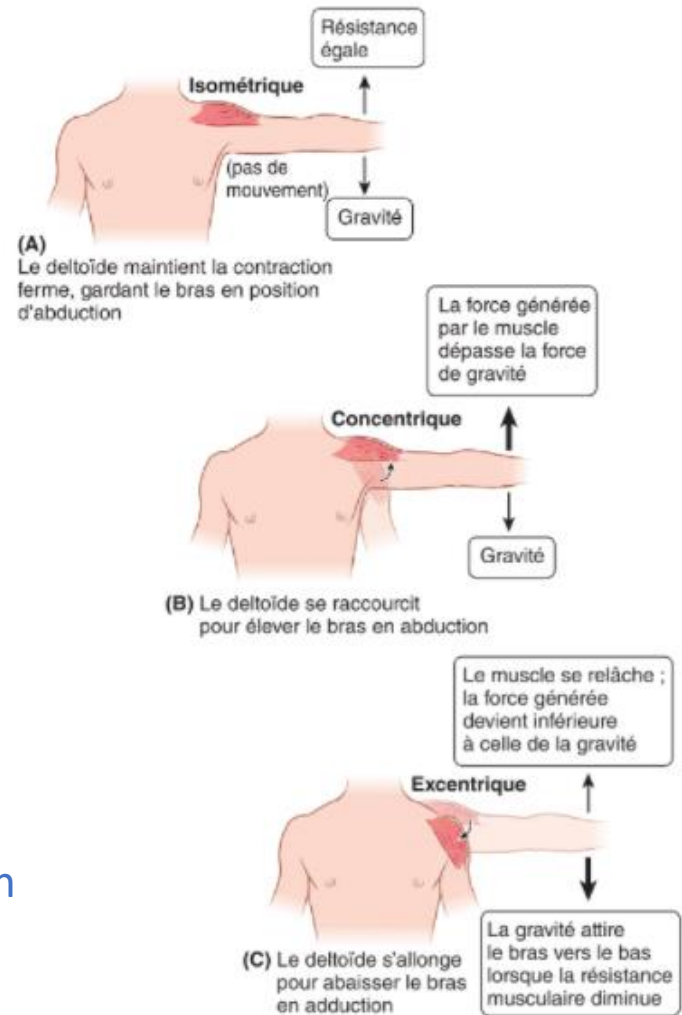


Fonctions des muscles

- **Production du mouvement**
 - **Locomotion** et manipulation
- **Maintien de la posture**
 - Ajustement permanent des muscles
- **Stabilisation des articulations**
 - Collaboration avec les ligaments et tendon
- **Régulation de la température corporelle**
 - Produisent de la chaleur et participent à la thermogénèse
- **Protection des organes**

La contraction musculaire

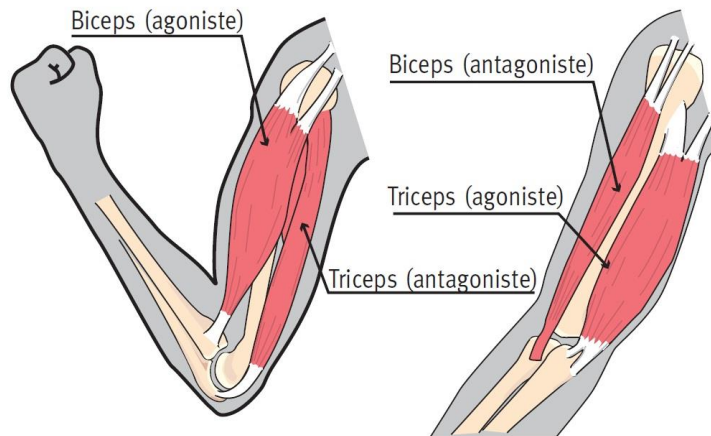
- Différents modes :
 - **Contraction isométrique** : dans ce mode de contraction, le muscle ne change pas de longueur
 - **Contraction concentrique** : lors de la contraction, celui-ci se raccourcit
 - **Contraction excentrique** : le muscle s'allonge alors qu'il se contracte



[Contraction musculaire concentrique](#)
[excentrique isométrique](#) Anatomie 3D Lyon

La contraction musculaire

- Différentes actions
 - **Agonistes** - responsables du mouvement
 - **Antagonistes** - s'opposent aux agonistes (protection)
 - **Synergistes** - assistent les agonistes et peuvent aider à augmenter la précision du mouvement

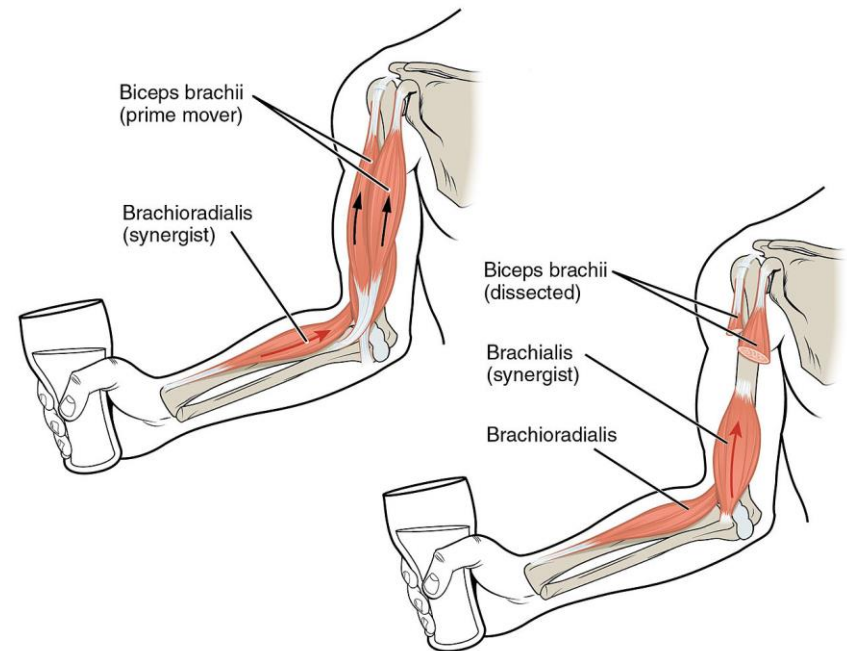


Flexion de l'avant-bras sur le bras

Biceps contracté (agoniste)
Triceps relâché (antagoniste)

Extension de l'avant-bras

Biceps relâché (antagoniste)
Triceps contracté (agoniste)



Mono et biarticulaire

- Monarticulaire : croise une seule articulation
 - Ex. solaire
- Biarticulaire : croise deux articulations
 - Ex. gastrocnémiens
- Importance sur la fonction du muscle





Les muscles pour la locomotion

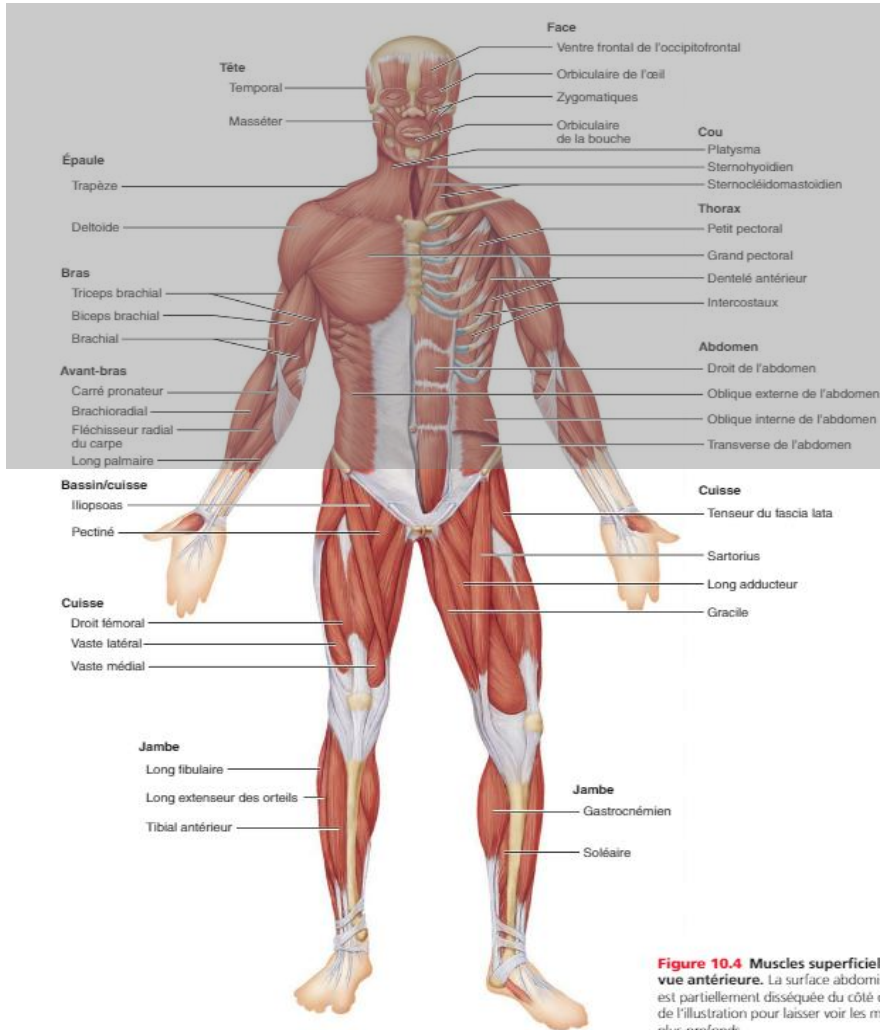


Figure 10.4 Muscles superficiels: **vue antérieure**. La surface abdominale est partiellement disséquée du côté c de l'illustration pour laisser voir les muscles plus profonds.

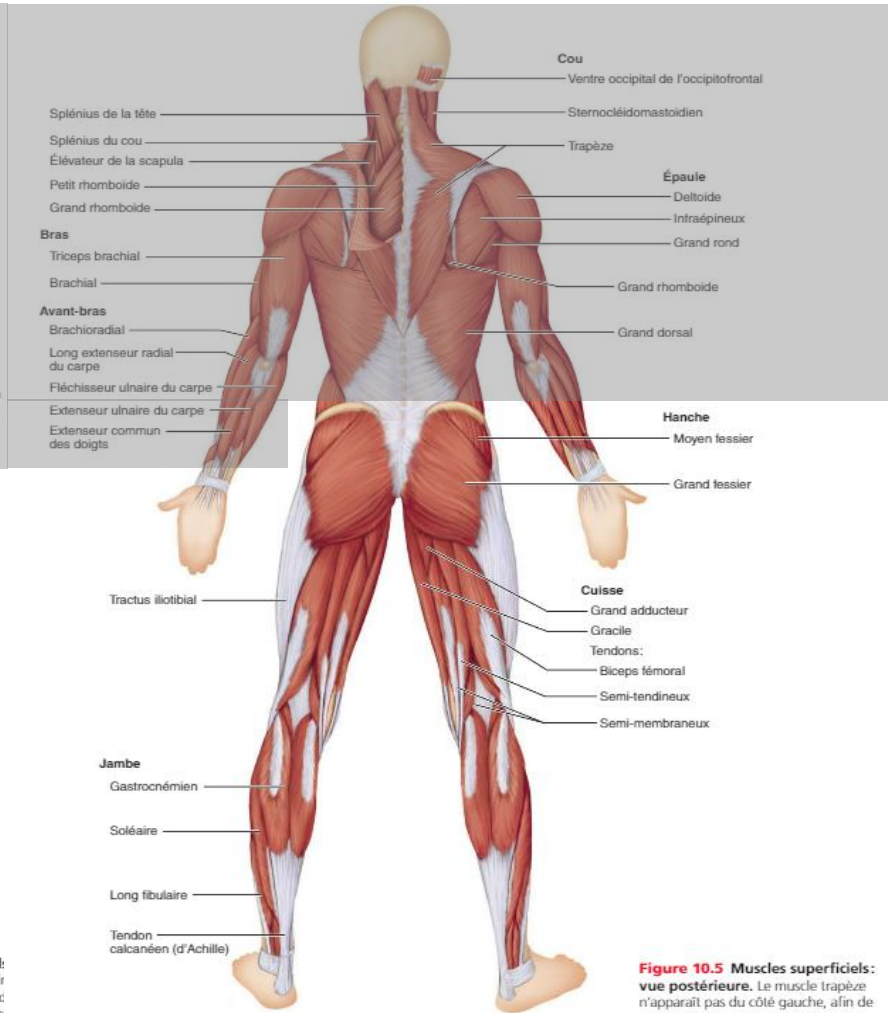


Figure 10.5 Muscles superficiels: **vue postérieure**. Le muscle trapèze n'apparaît pas du côté gauche, afin de laisser voir les muscles plus profonds.

Agencement des faisceaux

- Circulaire
 - Disposés en cercle concentrique
- Convergent
 - Origine large et fibres aboutissent à un tendon uniquement à son insertion
- Parallèle et fusiforme
 - Axes des fibres parallèles à l'axe du muscle
- Penné
 - Axes des fibres obliques à l'axe du muscle
 - Unipenné : fibres s'insèrent du même côté que le tendon
 - Bipenné : fibres s'insèrent de chaque côté que le tendon
 - Multipenné : fibres s'insèrent obliquement sur les faces latérales de plusieurs tendons



(a) Circulaire
Muscle orbiculaire
de la bouche



(b) Convergent
Muscle grand pectoral



(c) Fusiforme
Muscle biceps brachial



(d) Parallèle
Muscle sartorius



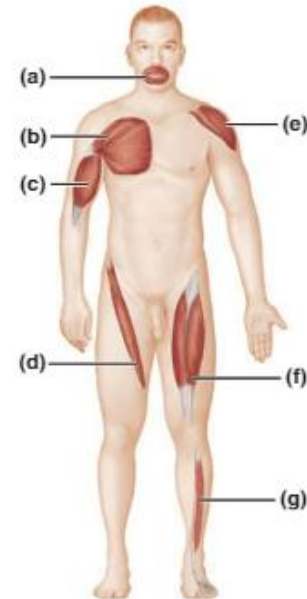
(e) Multipenné
Muscle deltoïde



(f) Bipenné
Muscle droit fémoral



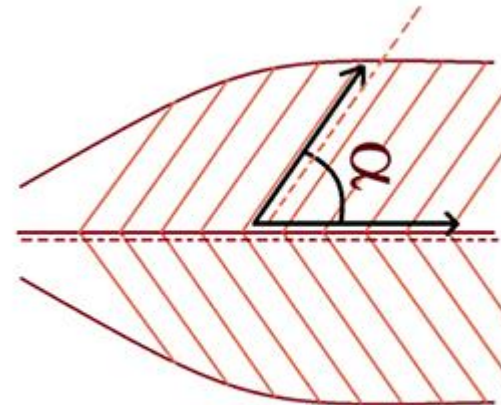
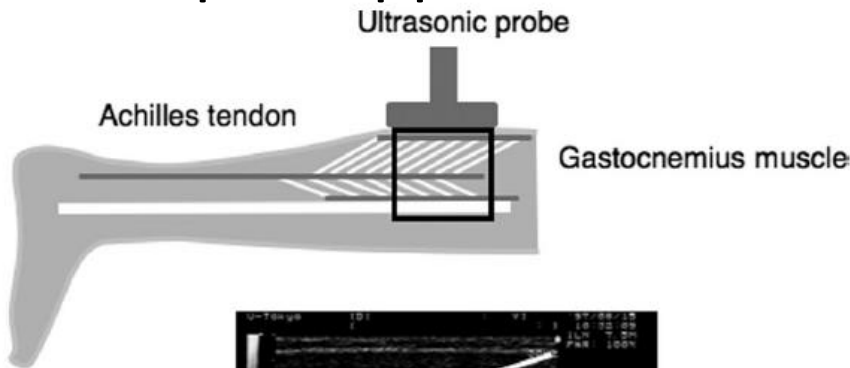
(g) Unipenné
Muscle long
extenseur
des orteils



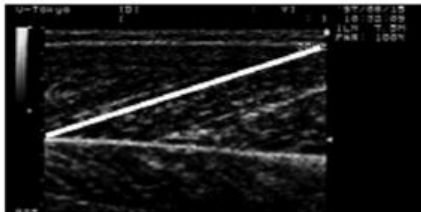
Le muscle squelettique: organisation et architecture

Angle de pennation

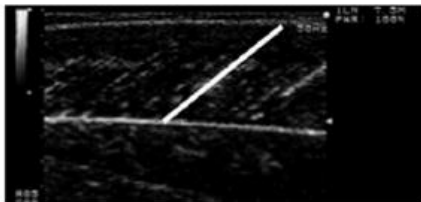
- Définition : Orientation des fibres musculaires par rapport à l'axe longitudinal du muscle



Rest



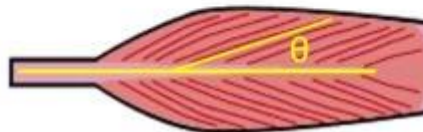
MVC



A



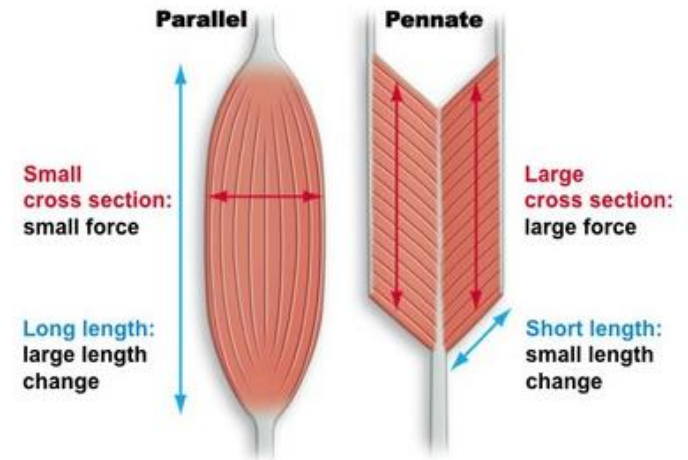
B



Kawakami & Fukunaga ESSR 2006

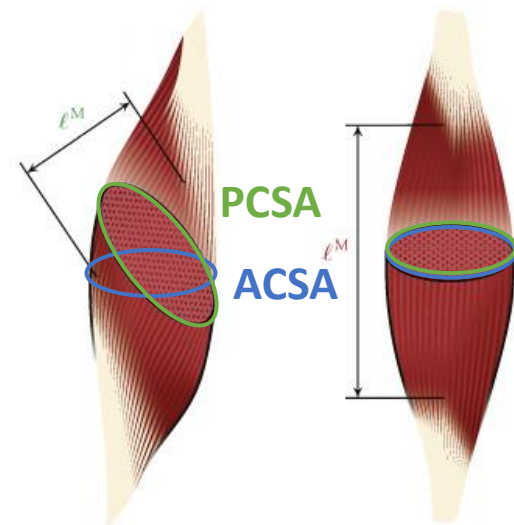
Angle de pennation

- Angle de pennation faible
 - Fibres alignées avec la ligne d'action du muscle
 - Peu de fibres = moins de force
 - Fibres longues = grande excursion et vitesse élevée
- Angle de pennation important
 - Fibres font un angle avec la ligne d'action du muscle
 - Plus de fibres = plus de force
 - Fibres courtes = faible excursion et vitesse réduite



Surface de section musculaire

- **Surface de section anatomique (ACSA)** : surface de section perpendiculaire à l'axe longitudinal du **muscle**
- **Surface de section physiologique (PCSA)** : surface de section perpendiculaire à la direction de toutes les **fibres** du muscle
- Force du muscle est proportionnelle à la **PCSA**

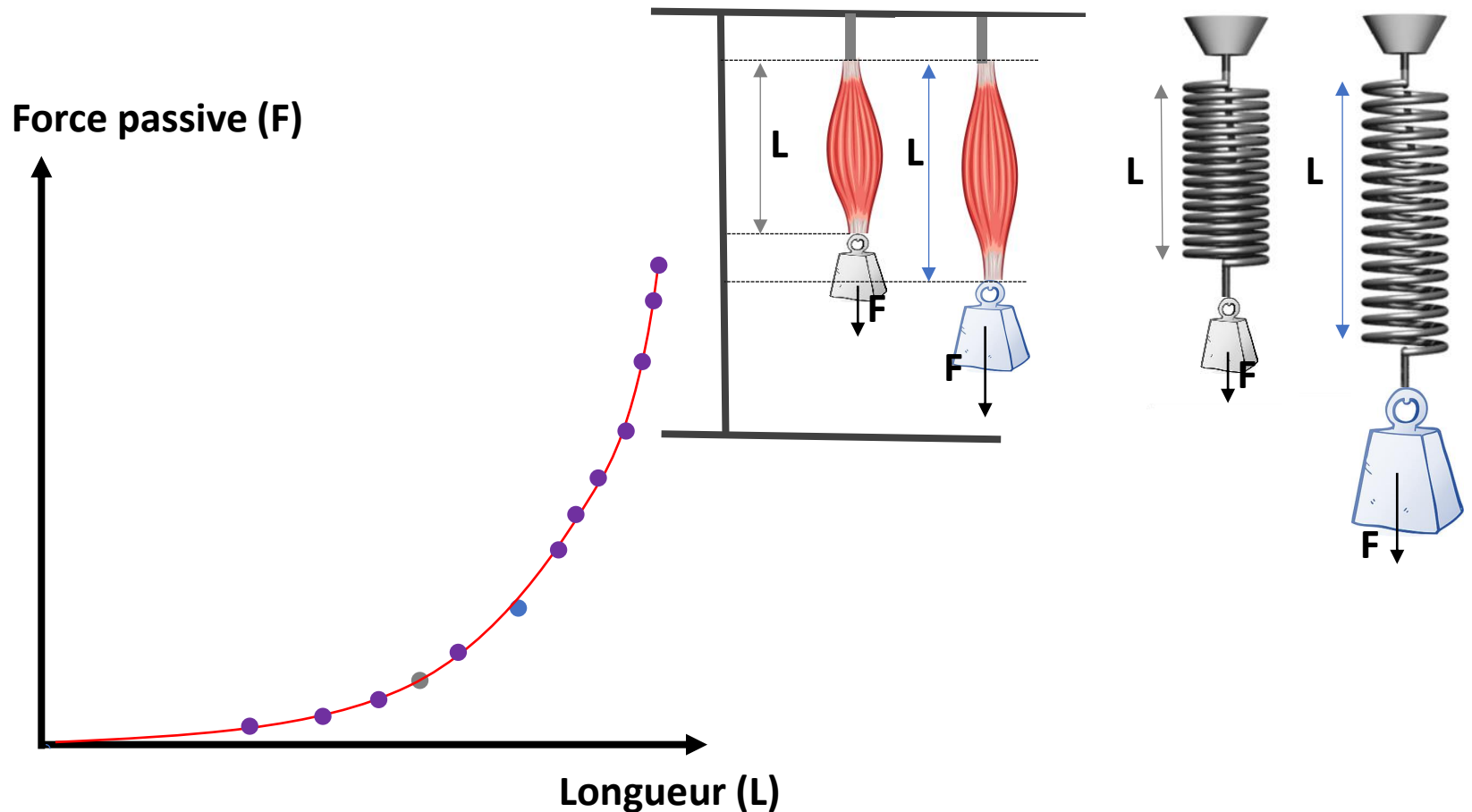


Plan

- Os/Squelette
 - Rappel sur structure et fonction
- Articulations
 - Rappel sur structure et fonction
- Muscles (tendons)
 - Rappel sur structure et fonction
 - Mécanique musculaire
 - Importance des bras de levier

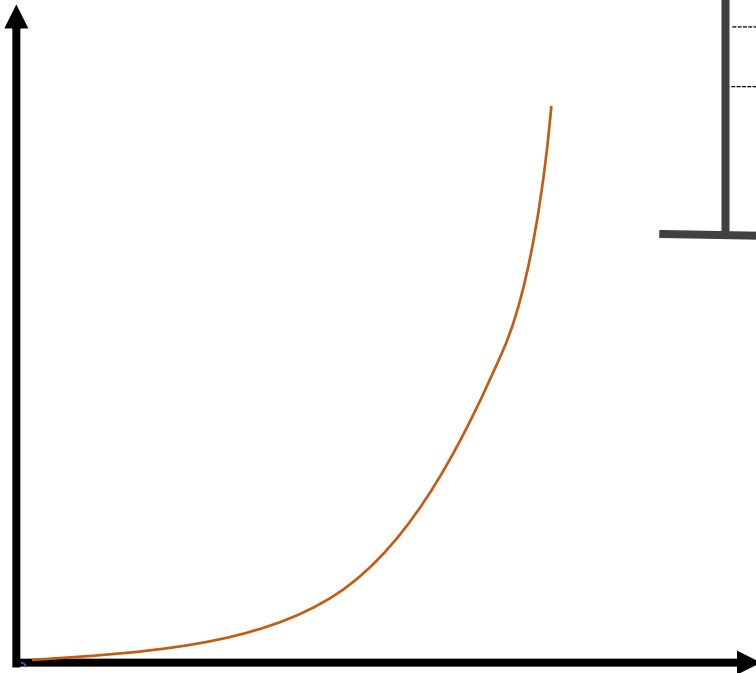
Relation force-longueur passive du muscle isolé (Elasticité)

- Passive = sans contraction
- raideur = $\Delta \text{force} / \Delta \text{déplacement}$

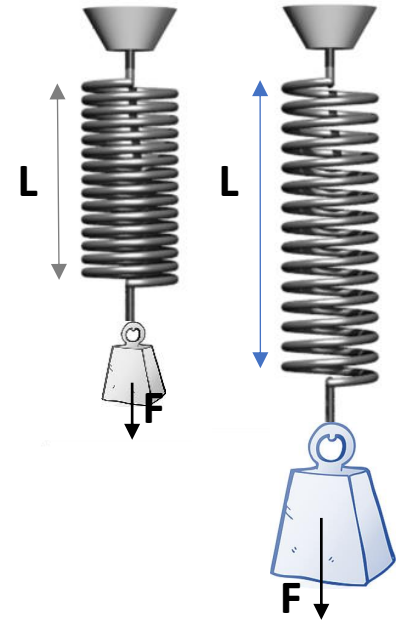
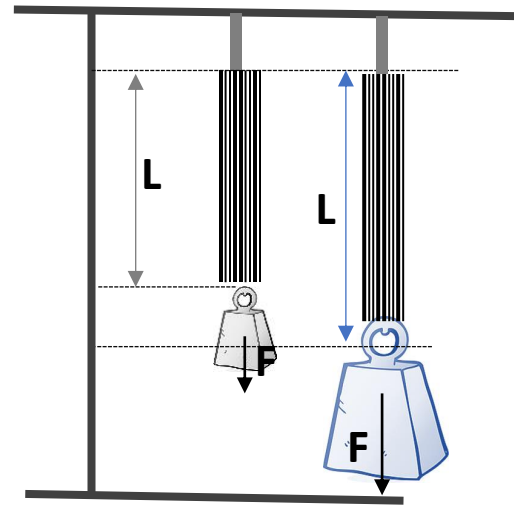


Relation force-longueur du tendon isolé

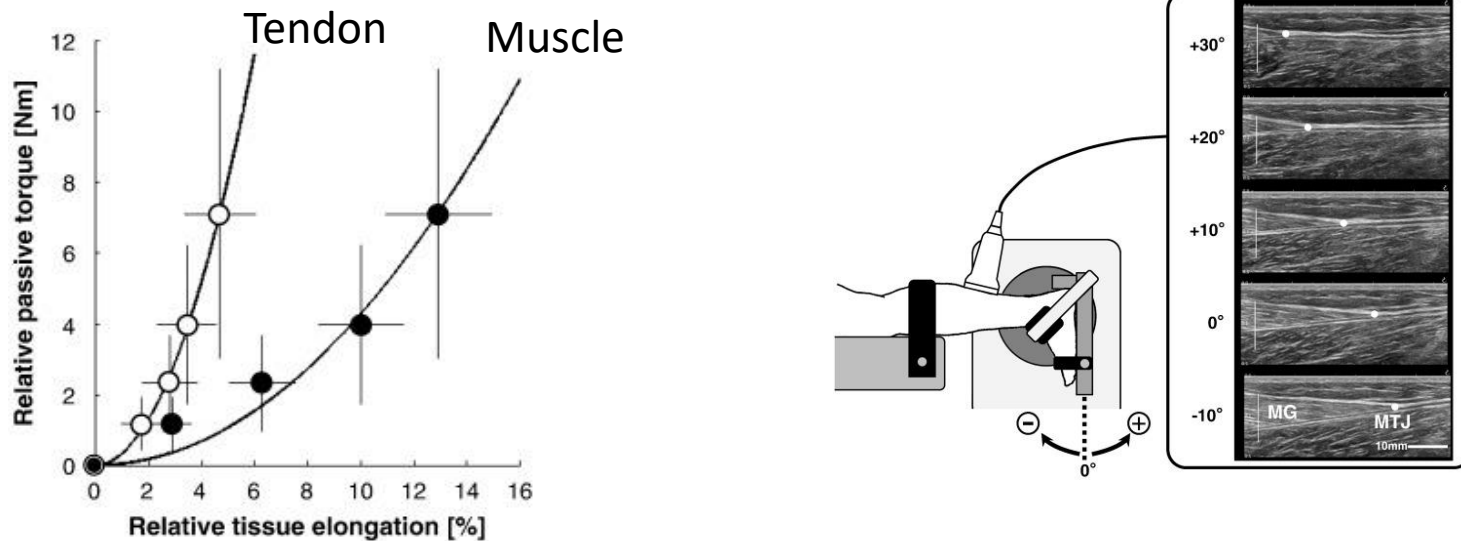
Force passive (F)



Longueur (L)

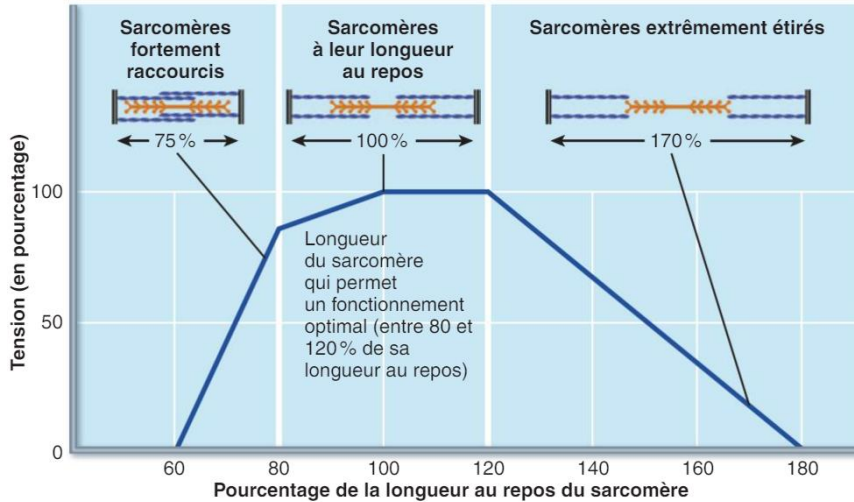


Relation force-longueur passive expérimentale chez l'homme



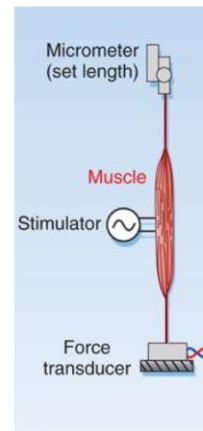
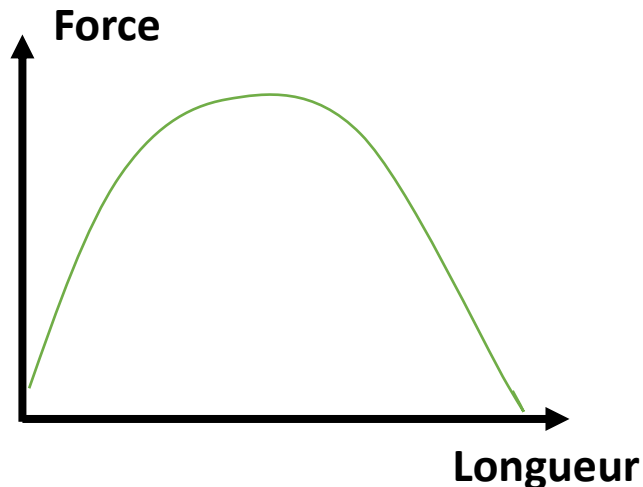
Chino K, Takahashi H. The association of muscle and tendon elasticity with passive joint stiffness: In vivo measurements using ultrasound shear wave elastography. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2015 Dec;30(10):1230-5. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2015.07.014. Epub 2015 Aug 14. PMID: 26296832.

Relation force-longueur active d'un sarcomère et d'un muscle

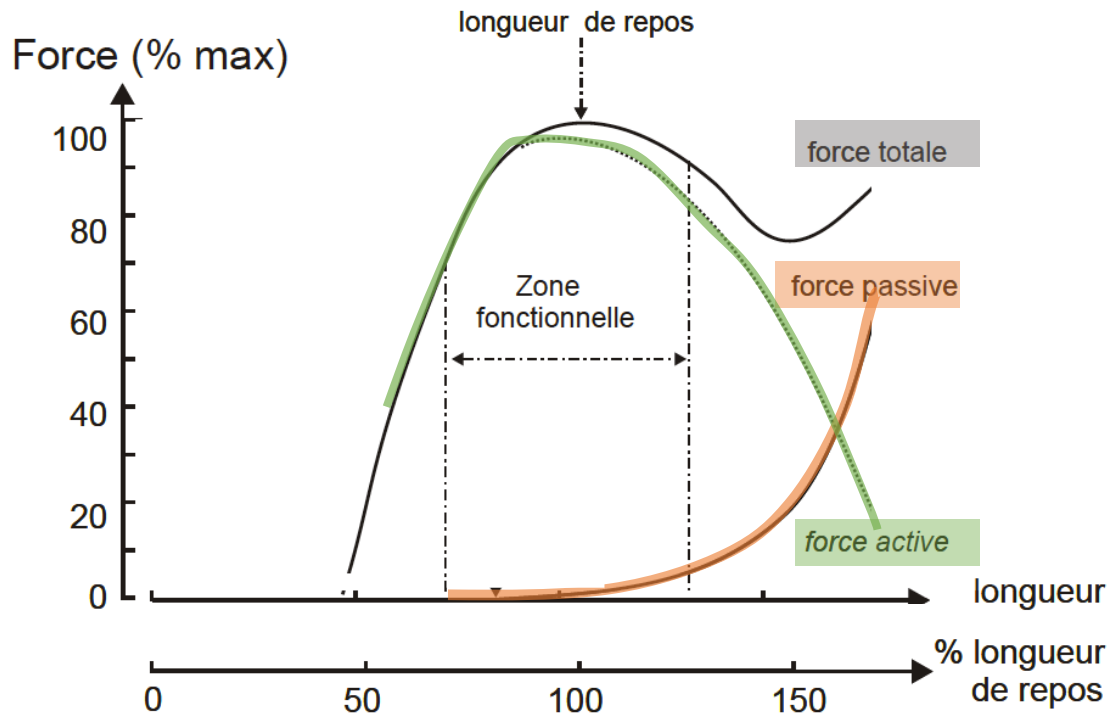


Active = avec contraction

Anatomie et physiologie humaines, Elaine Marieb, Katja Hoehn, 2019

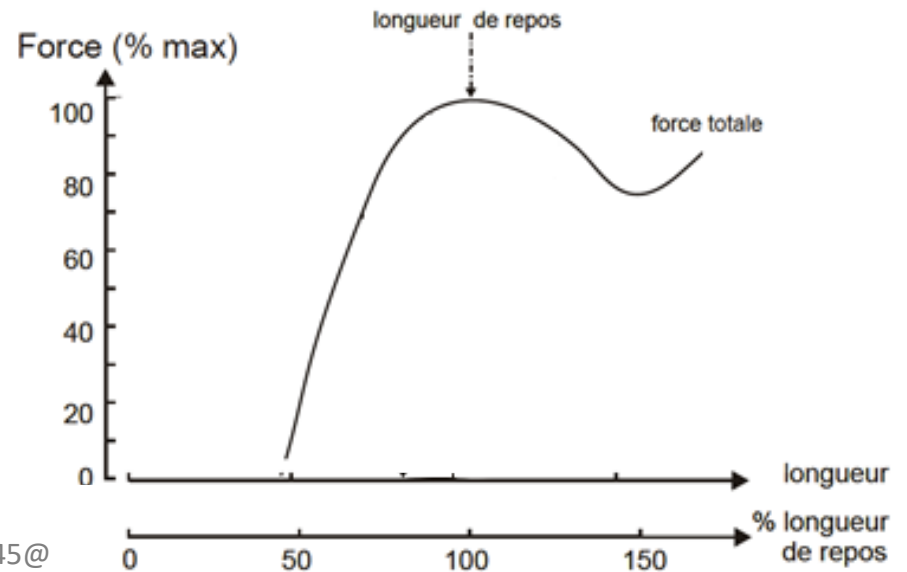
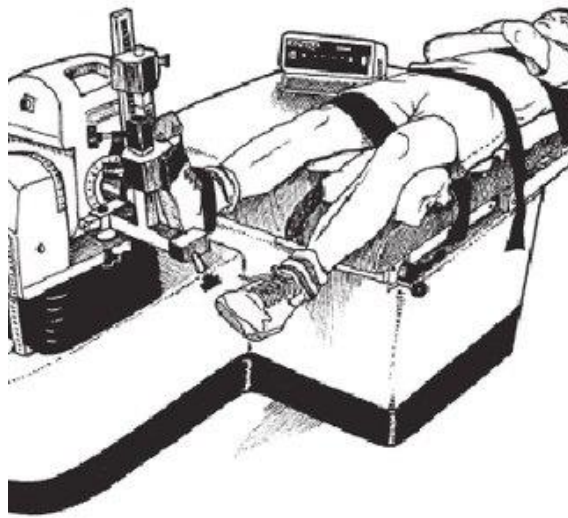


Relation force-longueur du muscle



$$\text{Force Totale} = \text{Force Active} + \text{Force Passive}$$

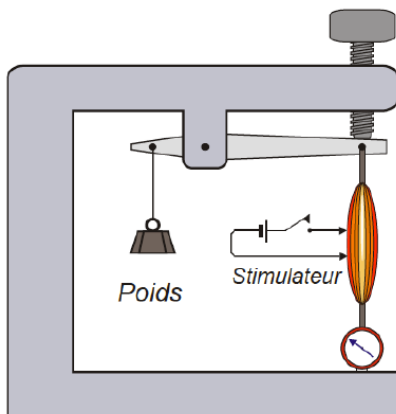
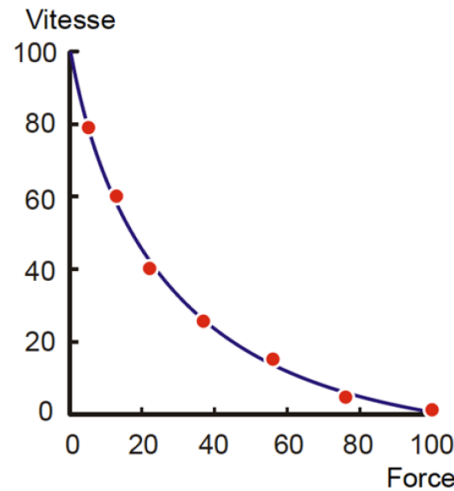
Relation force-longueur expérimentale chez l'homme



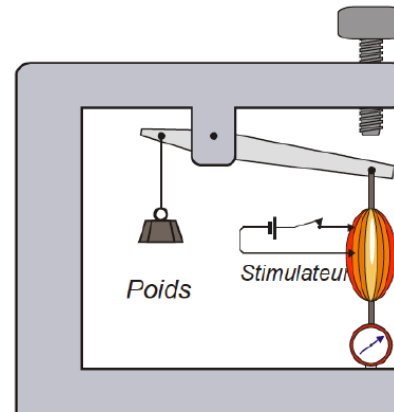
https://www.researchgate.net/profile/Francois-Fourchet/publication/273750077/figure/fig1/AS:294682908217345@1447269288496/Position-du-sujet-en-decubitus-dorsal-genou-tendu-pour-une-evaluation-isocinetique-des_Q320.jpg

Relation force-vitesse

- La force que peut développer un muscle dépend de sa vitesse de contraction et inversement, sa vitesse de contraction dépend de la charge appliquée
(Gasser et Hill, 1924)
- Cette relation entre force et vitesse de contraction est de type hyperbolique pour le muscle isolé
(Fenn et Marsh, 1935)



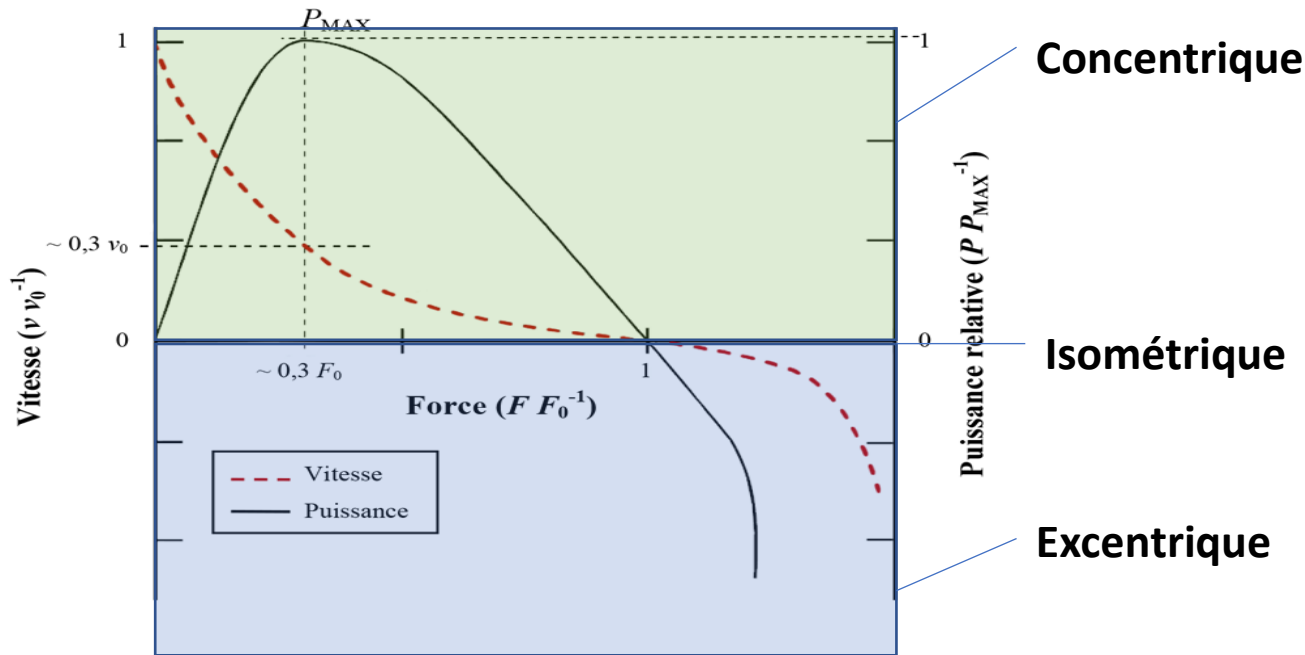
Il est possible de faire varier la valeur des poids que le muscle soulève.



En faisant varier les poids, il est possible de déterminer une relation entre la force et la vitesse de raccourcissement.

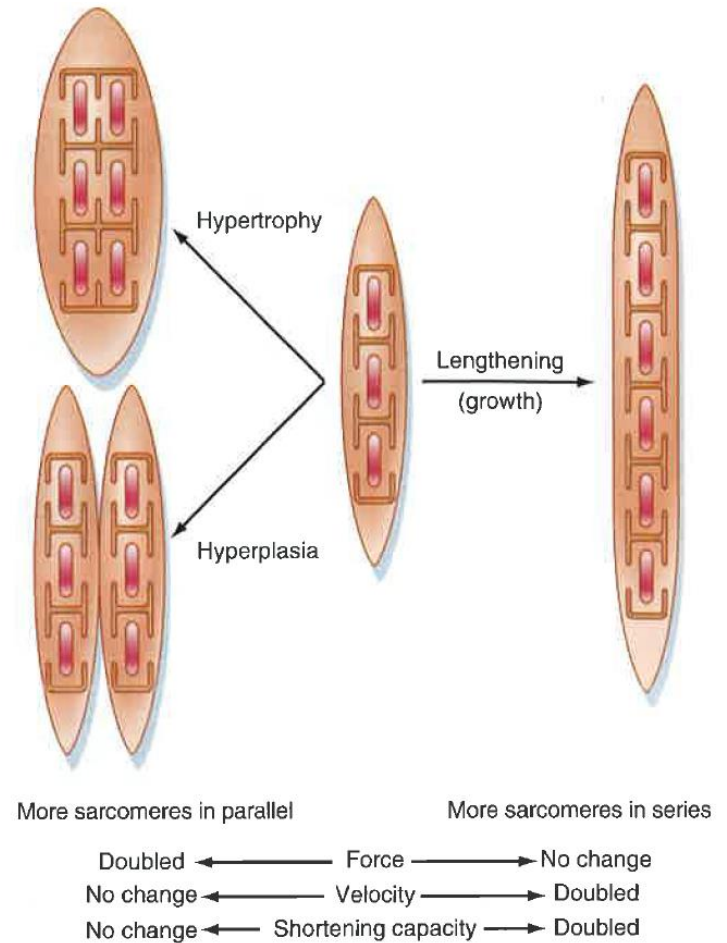
Relation force-vitesse / Puissance

- Puissance : quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système
- Puissance = Force x Vitesse



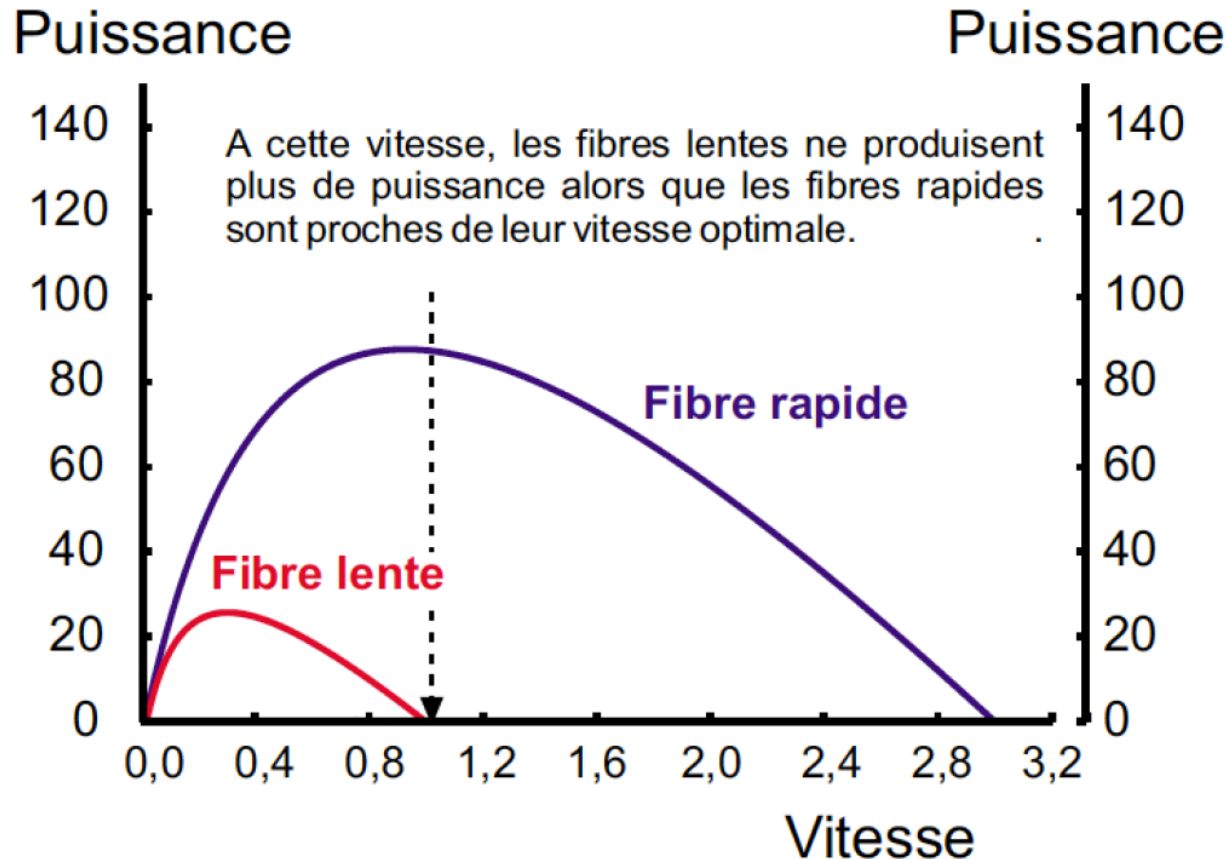
Relation force-vitesse

- Plus il y a de sarcomères placés en parallèle dans la fibre musculaire plus la fibre peut développer de la force
- Plus il y a de sarcomères placés en série dans la fibre musculaire plus la fibre peut développer de la vitesse



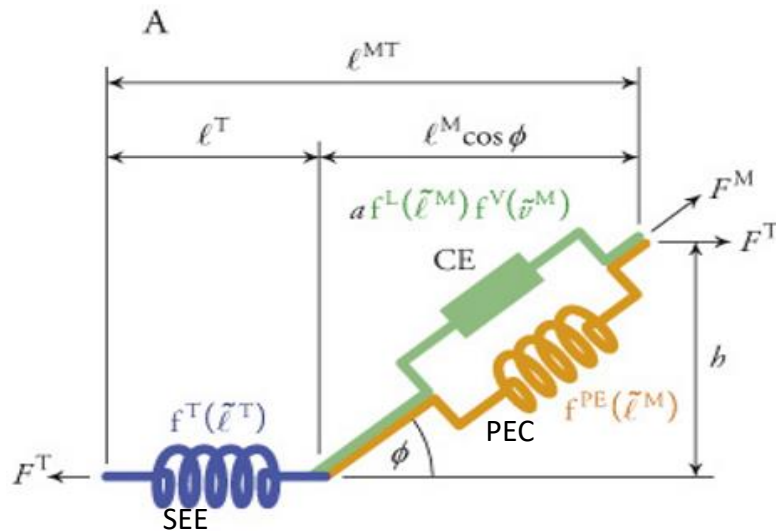
Puissance

Les fibres rapides peuvent générer une puissance où les fibres lentes ne peuvent en générer



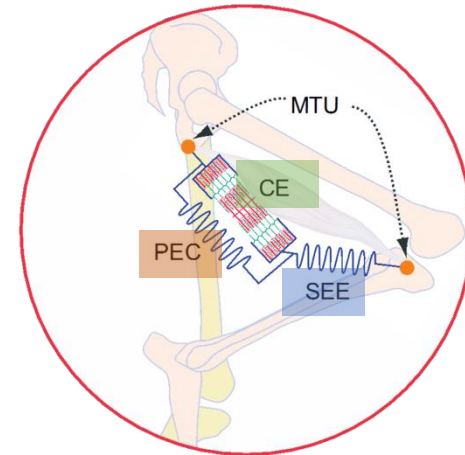
Modélisation muscle/tendon

- Modèle de Hill (1950)
 - CE : Composante contractile
 - ponts actine-myosine
 - SEE : Composante élastique série
 - tendon
 - PEC : Composante élastique parallèle
 - tissu conjonctif, sarcolemme, titine, desmine



Uchida et al., *Biomechanics of Movement*, 2020

A.V. Hill (1886-1977) – Physiologiste anglais
1922 : Prix Nobel de physiologie et de médecine pour sa découverte relative à la production de chaleur dans le muscle
1938 : Relation Force-Vitesse



<http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2016.1266018>

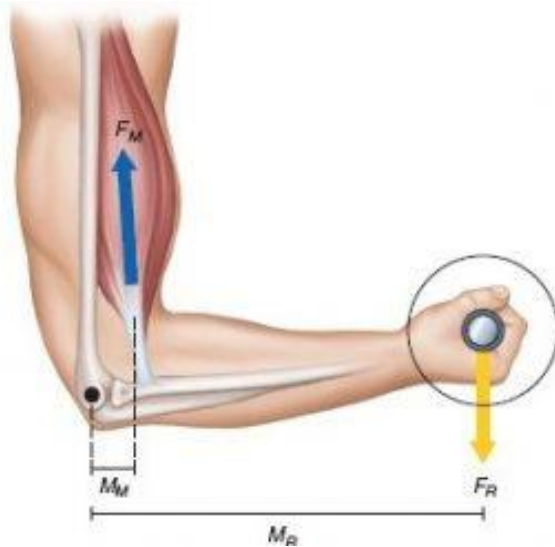
Plan

- Os/Squelette
 - Rappel sur structure et fonction
- Articulations
 - Rappel sur structure et fonction
- Muscles (tendons)
 - Rappel sur structure et fonction
 - Mécanique musculaire
 - Importance des bras de levier

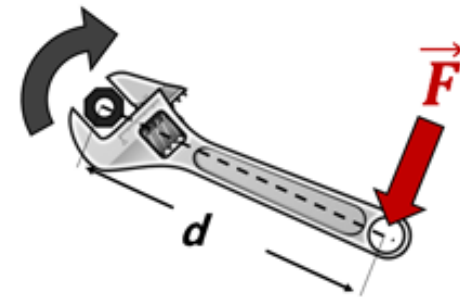


Bras de levier et moment

- Bras de levier : distance perpendiculaire entre l'axe de rotation et la ligne d'action de la force
- La notion de moment d'une force
 - Moment = Distance (bras de levier) X Force



<https://www.nfpt.com/wp-content/uploads/Muscle-Moment-Arm-300x246.jpg>



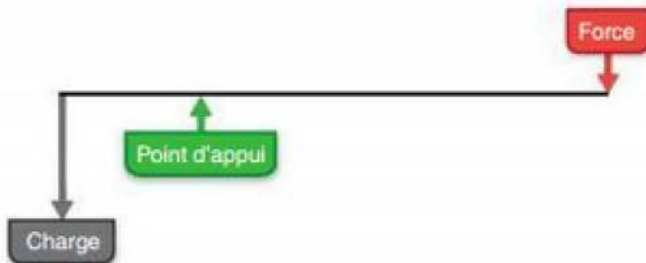
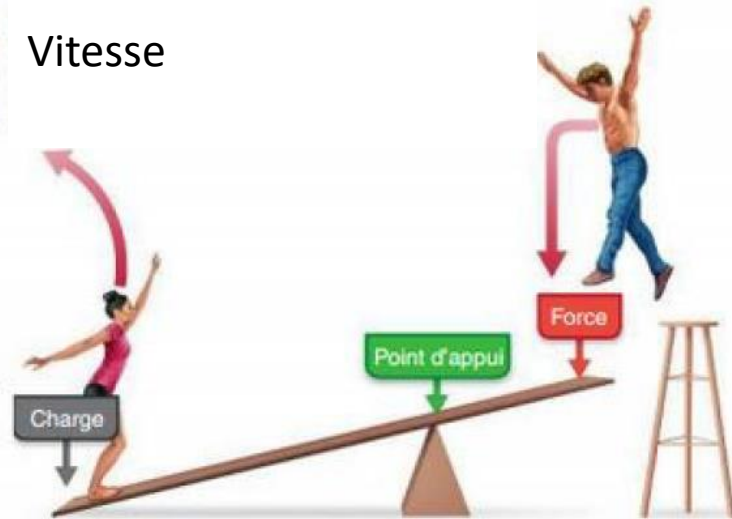
<https://www.sci-sport.com/lexique/img/d109.png>

Type de bras de levier

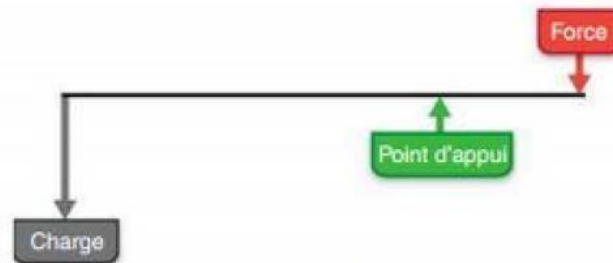
Force



Vitesse



Avantage mécanique



Avantage cinématique

Type de bras de levier

Inter-moteur

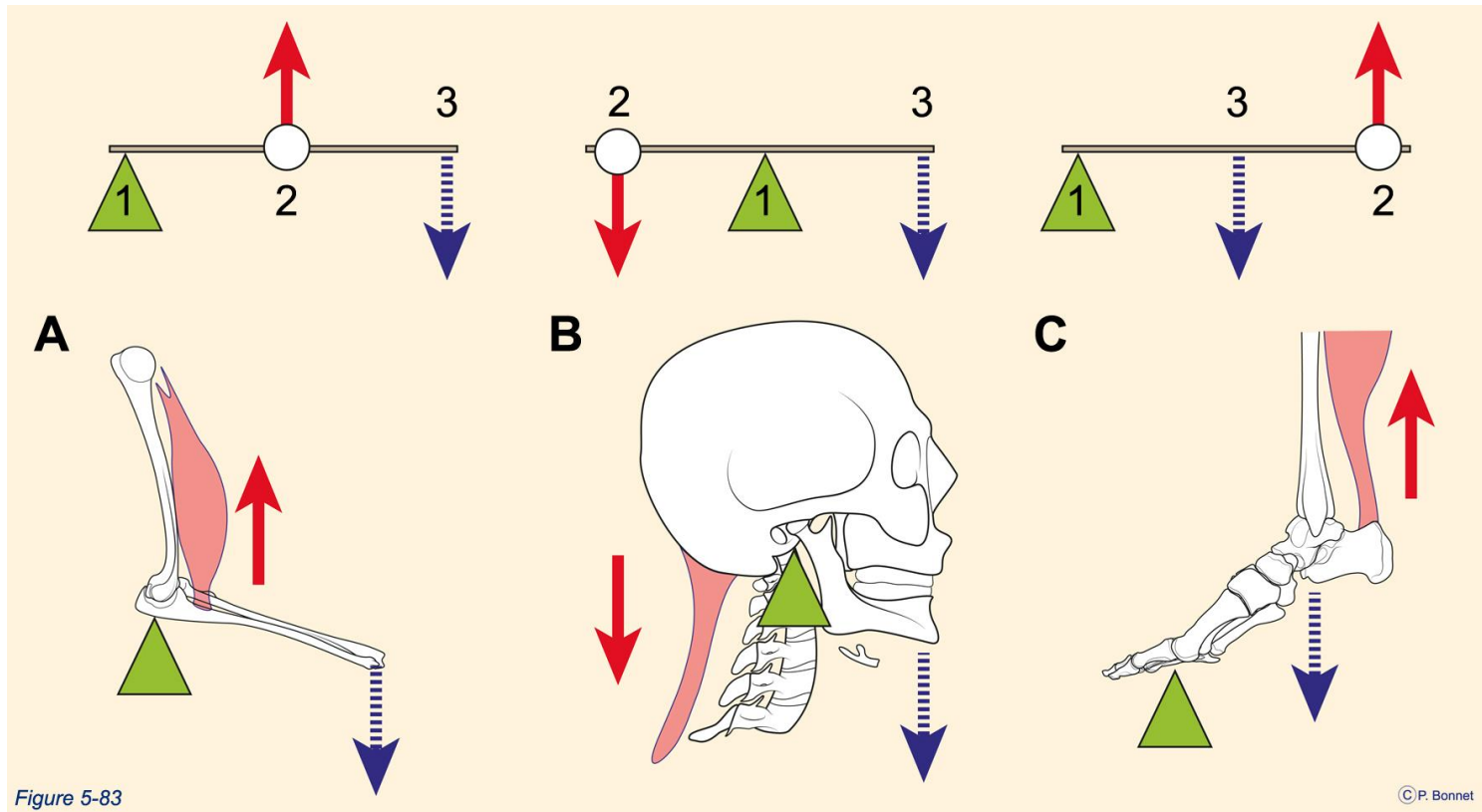
- force au milieu
- Vitesse/amplitude

Inter-appui

- Pivot au milieu
- Equilibre

Inter-résistant

- Charge au milieu
- Force



<https://e-publish.uliege.be/anatomie/chapter/section-3-myologie/>

Bras de levier et moment



- 1^{ère} loi de Newton



pingo.coactum.de → 248619



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

$$\sum \tau_z = 0$$

- Calculer d2 pour que le système reste en équilibre

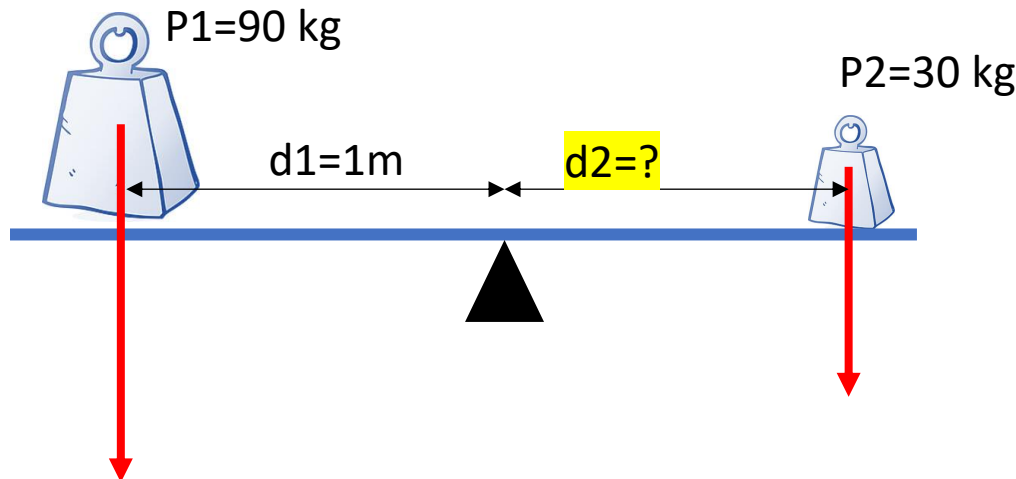
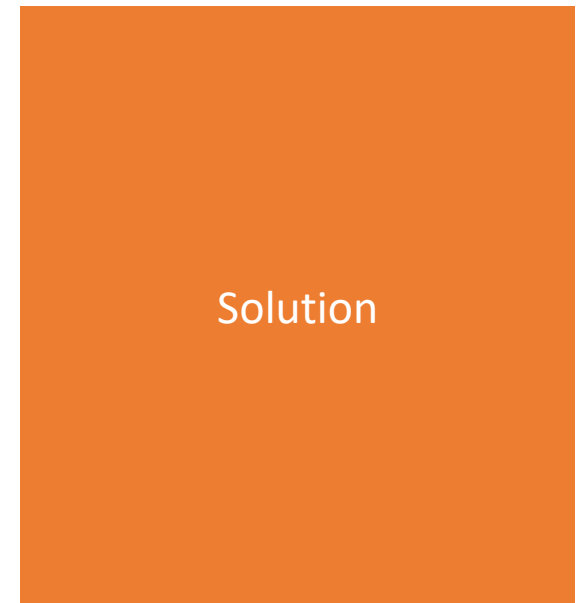
A: 33 cm

B: 1m

C: 3m

D: 5m

E: Je ne sais pas



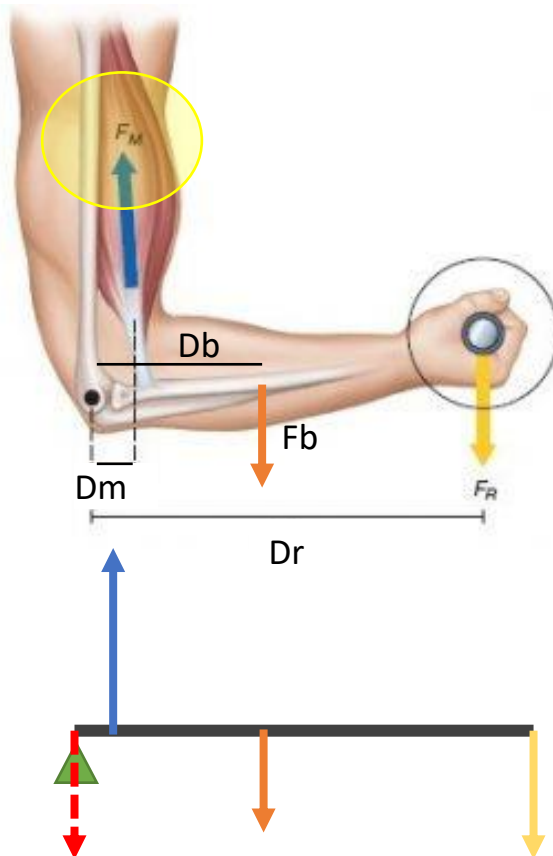
Bras de levier et moment



pingo.coactum.de → 248619



- Calculer la force F_M nécessaire pour tenir le poids dans la main



A: 100 N

B: 1100 N

C: 1000 N

D: 300 N

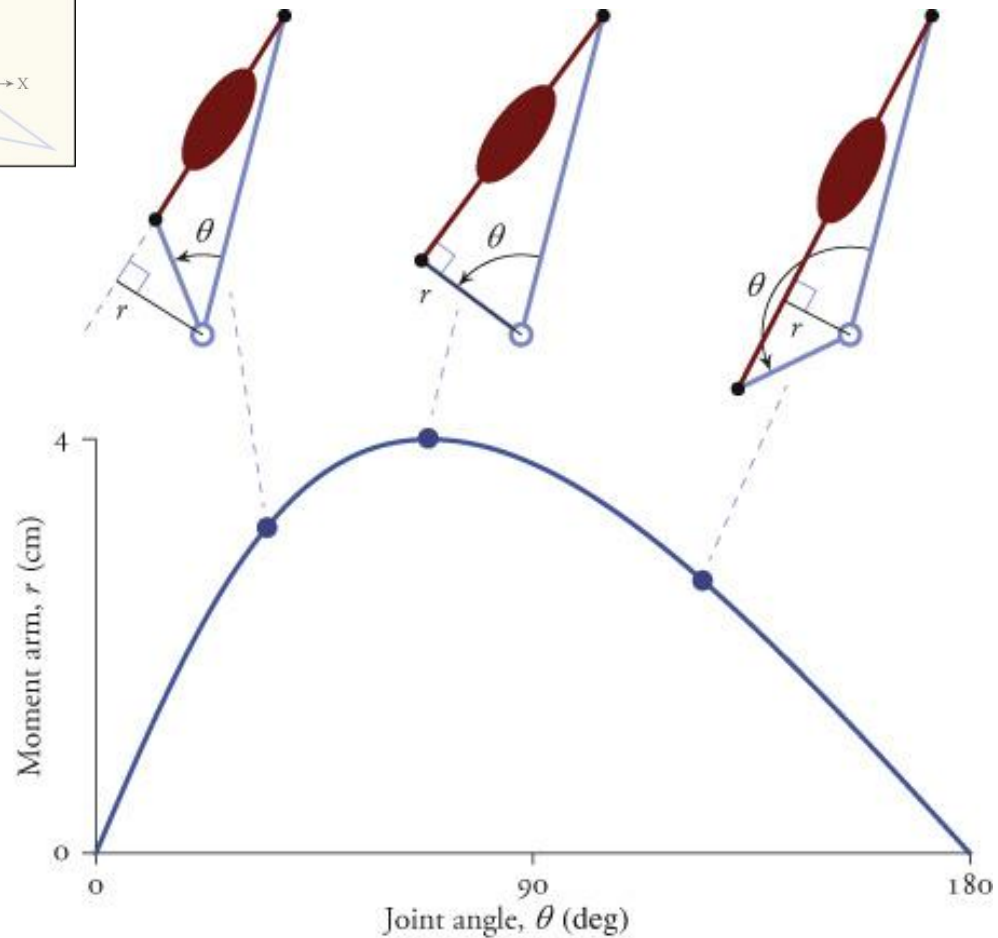
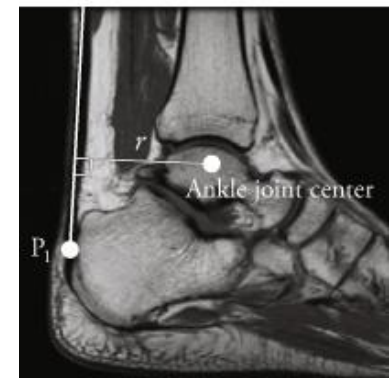
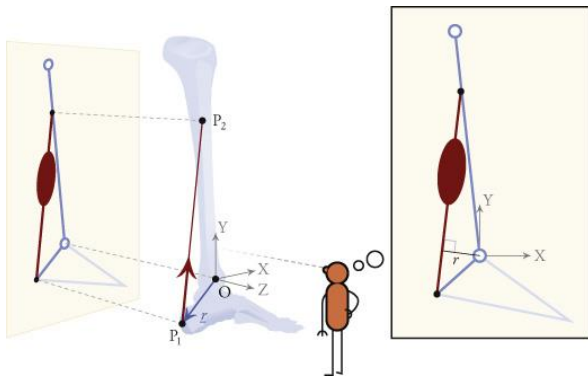
E: Je ne sais pas

$F_M = ?$, $F_R = 100\text{N}$, $F_b = 30\text{N}$

$D_r = 30\text{cm}$, $D_m = 3\text{cm}$, $D_b = 10\text{cm}$

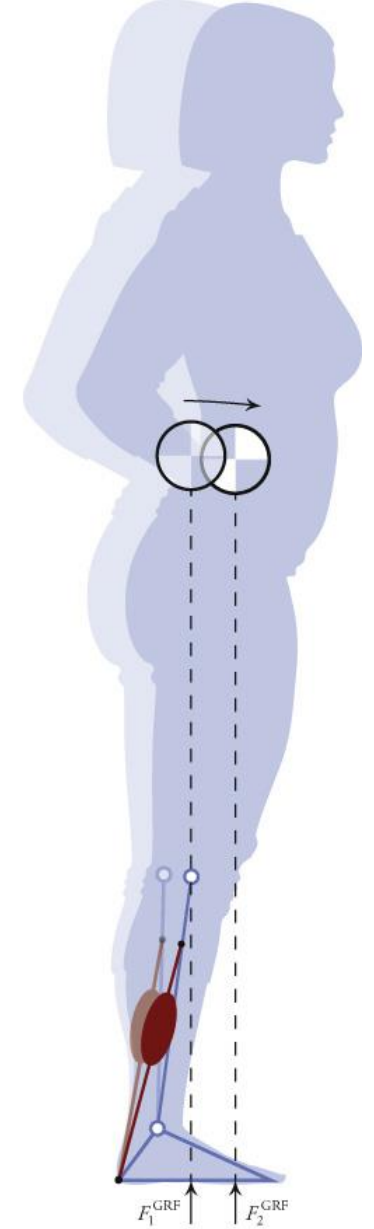
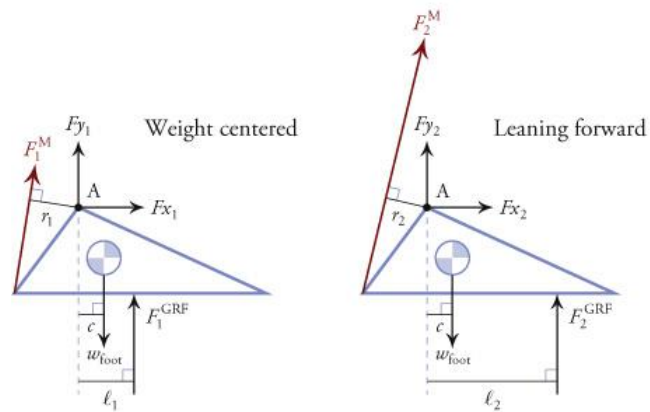
Solution

Bras de levier et moment



Bras de levier

- En se penchant en avant
 - Augmentation du bras de levier ℓ
 - Diminution du bras de levier r
 - Force de réaction au sol GRF identique
 - Augmentation de la force FM du soléaire pour maintenir le corps en équilibre



Les facteurs qui influencent la force musculaire



- **Structure du muscle**
 - Taille du muscle (PCSA)
 - Angle de pennation
 - Type de fibres
 - Organisation des fibres (// ou série)
- **Interaction muscle/squelette**
 - Insertion / Origine (trajet)
 - bras de levier
- **Recrutement**
 - Fréquence de décharge des unités motrices
 - Nombre d'unités motrices activées
 - Type d'unités motrices activées (fibres type I ou II)
- **Mouvement réalisé**
 - Vitesse d'action musculaire
 - Modalité de l'action (concentrique, excentrique...)
 - Position articulaire (angle)
 - Bras de levier
 - Recouvrement des myofibrilles
 - Etirement passif muscle et tendon

Rappel des objectifs

- Connaître les composantes et le fonctionnement de l'appareil locomoteur humain pour la production de mouvement
 - Structure de soutien par le squelette
 - Bras de levier assuré par les os
 - Rotation (pivot) permis par les articulations (Guide)
 - Génération de force par le muscle strié (Moteur)
 - Transmission de la force par le tendon

Speakup



<https://web.speakup.info/room/join/34071>

