

ANALYSE BIOMECANIQUE DU GESTE SPORTIF

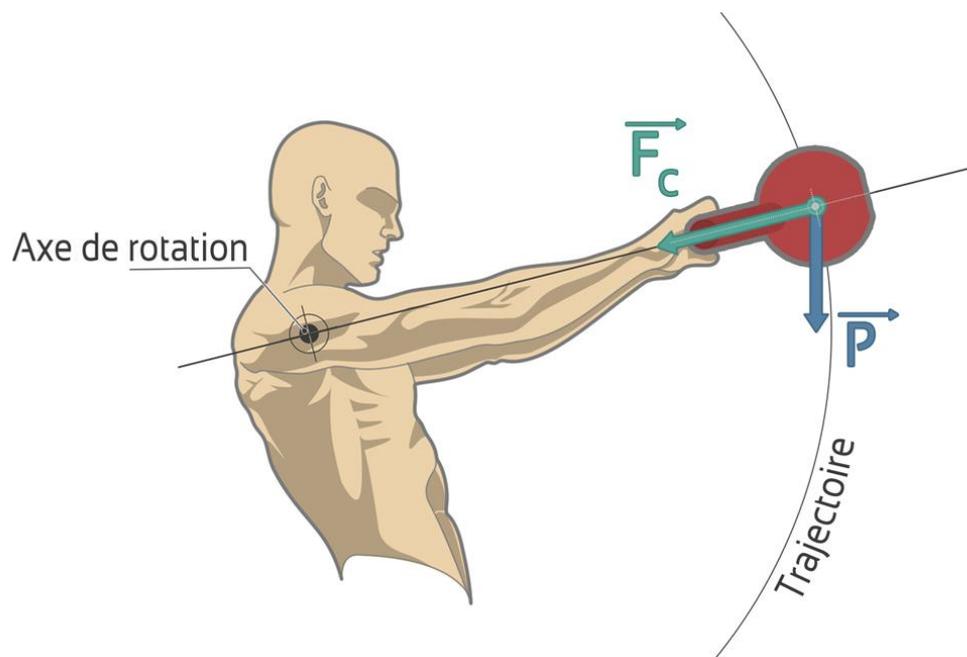


Table des matières

1. LES GRANDES PARTIES DE L'APPAREIL LOCOMOTEUR.....	1
1. Les membres supérieurs	1
2. La ceinture scapulaire.....	1
3. Le tronc.....	1
4. La ceinture pelvienne	1
5. Les membres inférieurs	1
2. SCHÉMATISATION DU FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL LOCOMOTEUR	2
3. DÉMARCHE D'ANALYSE	7
Première étape.....	7
Deuxième étape	7
Troisième étape.....	7
Quatrième étape	8
Cinquième étape	8
Sixième étape	9
ANNEXE 1 : LES MOUVEMENTS.....	1
ANNEXE 2 : LES ARTICULATIONS	1
ANNEXE 3 : NOTIONS FONDAMENTALES DE BIOMÉCANIQUE.....	1
ANNEXE 4 : TYPOLOGIE ET FONCTIONNEMENT MUSCULAIRE	4
ANNEXE 5 : L'ANNALYSE DES CONTRAINTES.....	7

1. LES GRANDES PARTIES DE L'APPAREIL LOCOMOTEUR

Si on exploite certaines démarches d'analyse des activités physiques et du mouvement, un des éléments avancés est la « division du corps » en trois parties :

- Ceinture scapulaire et membres supérieurs ;
- Tronc ;
- Ceinture pelvienne et membres inférieurs.

D'autres évoquent des notions de points clés, ou de charnières, sur le corps humain. Ce sont des zones où sont transmises les différentes forces qui peuvent s'exercer sur le pratiquant durant son activité physique, ou sa vie quotidienne.

1. Les membres supérieurs

C'est le système de préemption, dont la mobilité est la plus importante du corps. Les membres supérieurs servent à tenir et/ou à transmettre les forces externes ou internes au pratiquant. Leurs actions se répercutent sur la ceinture scapulaire en premier lieu.

2. La ceinture scapulaire

Point d'appui sur le tronc pour développer un effort avec les membres supérieurs, elle permet la précision des habiletés motrices spécifiques des membres supérieurs.

3. Le tronc

Élément central sur lequel viennent se greffer toutes les contraintes des activités, il doit supporter et transmettre les contraintes entre les deux ceintures.

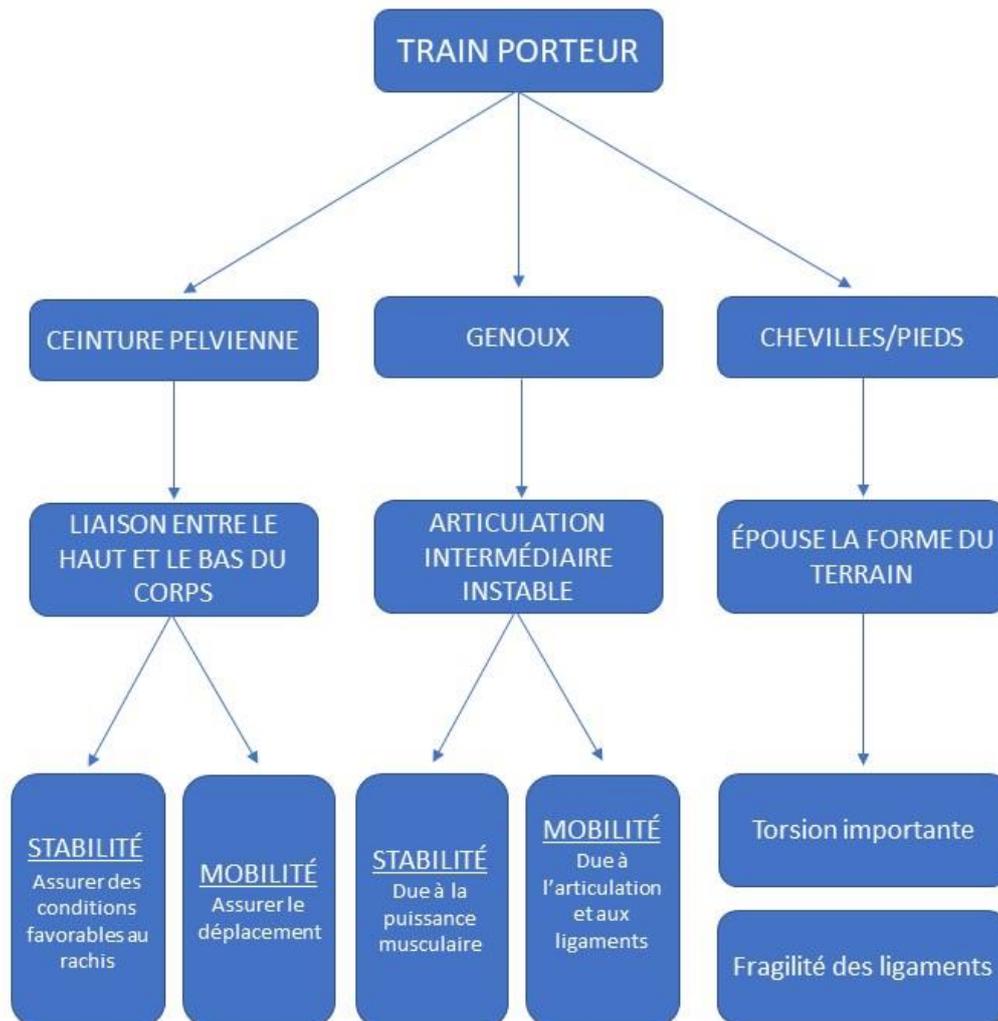
4. La ceinture pelvienne

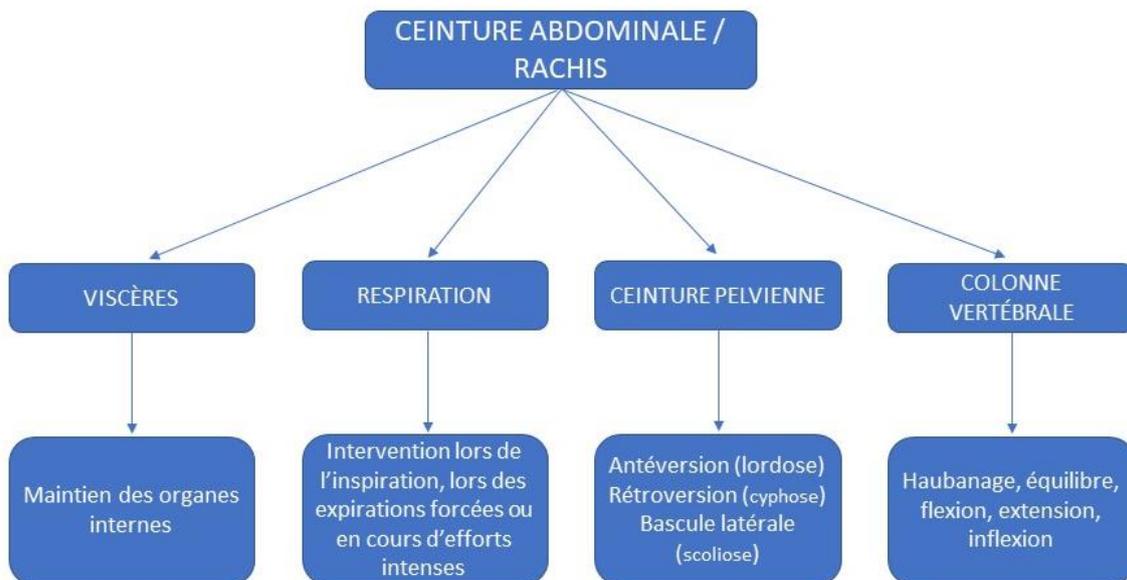
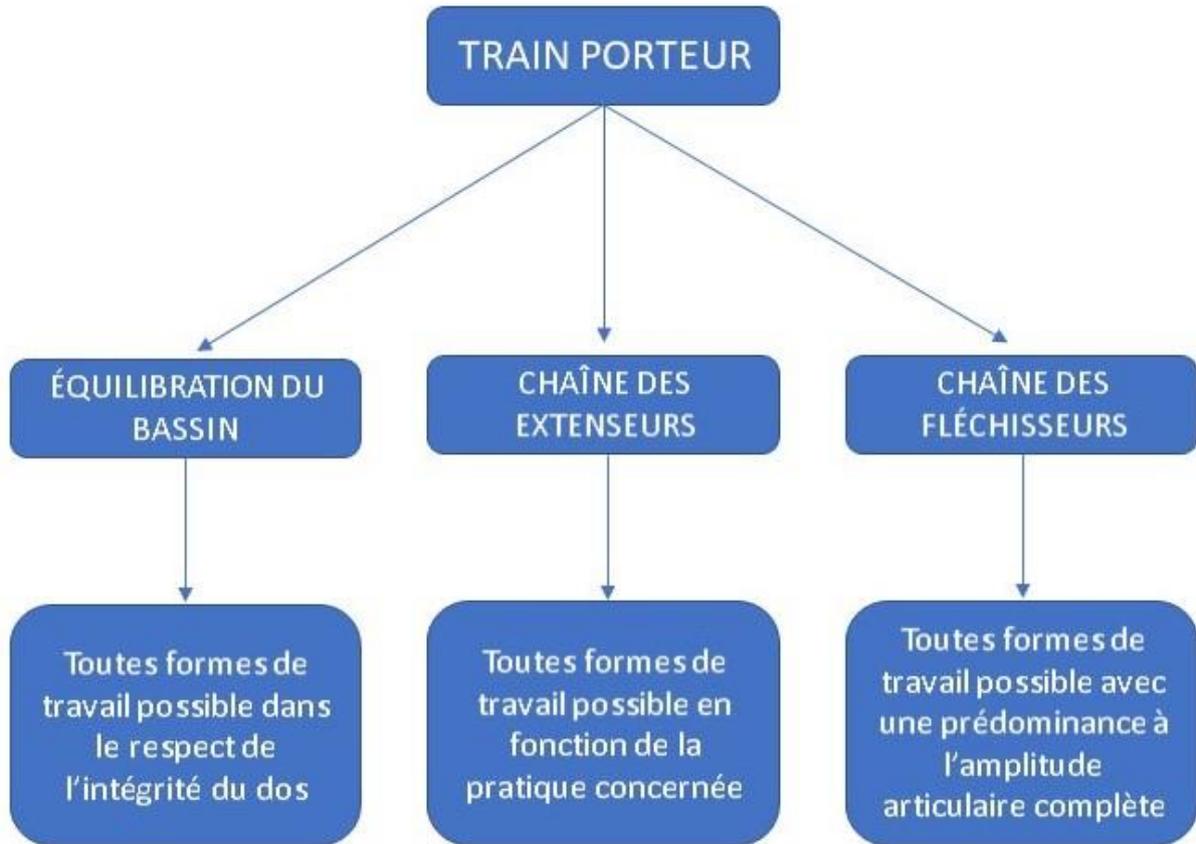
C'est la charnière entre le haut et le bas du corps. Elle permet la répartition des charges sur le sol. C'est aussi le point d'appui sur le tronc pour développer des efforts avec les membres inférieurs.

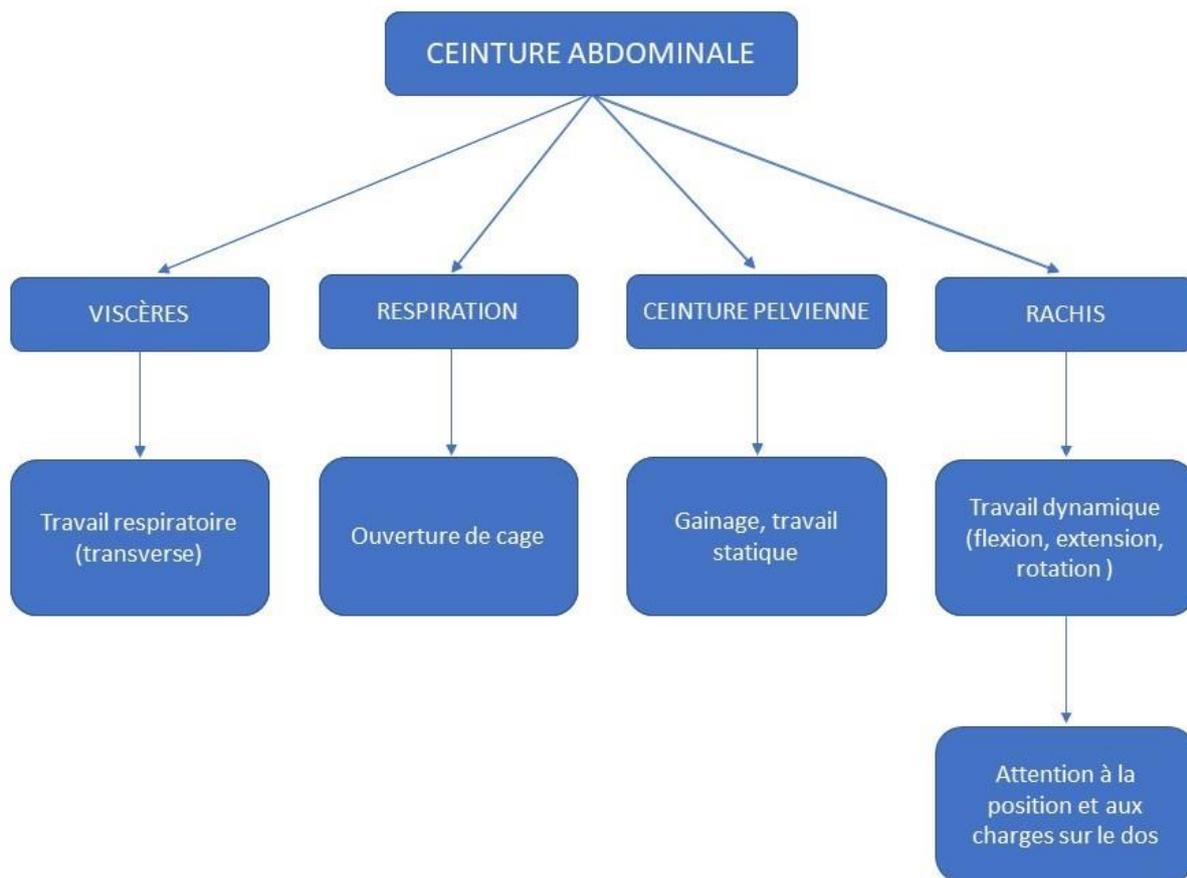
5. Les membres inférieurs

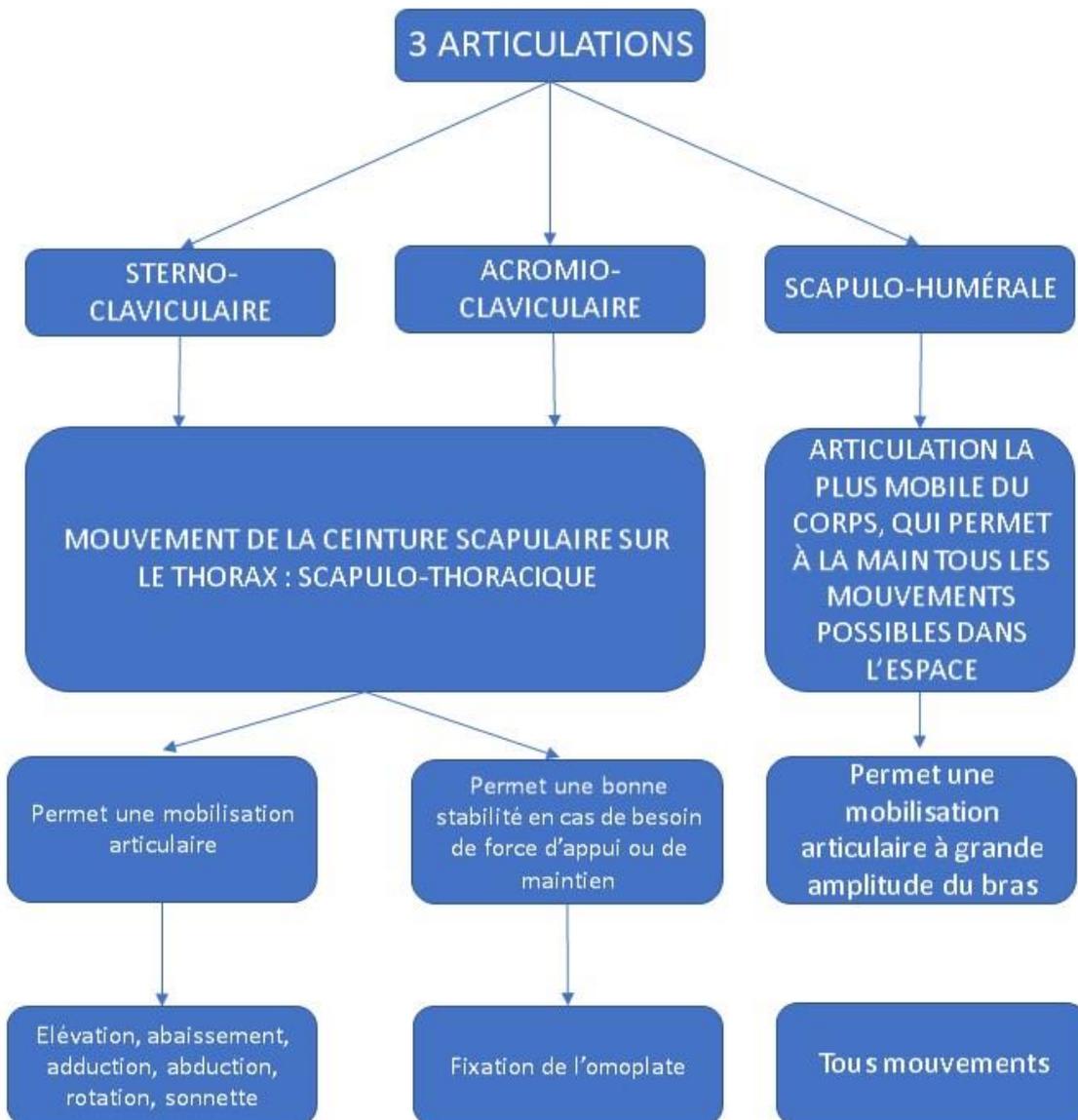
Ils supportent tout le corps, et toutes les charges additionnelles ou les contraintes que le pratiquant doit vaincre. Ils servent à transmettre les forces externes ou internes au pratiquant sur le sol. Leurs actions se répercutent sur la ceinture pelvienne en premier lieu.

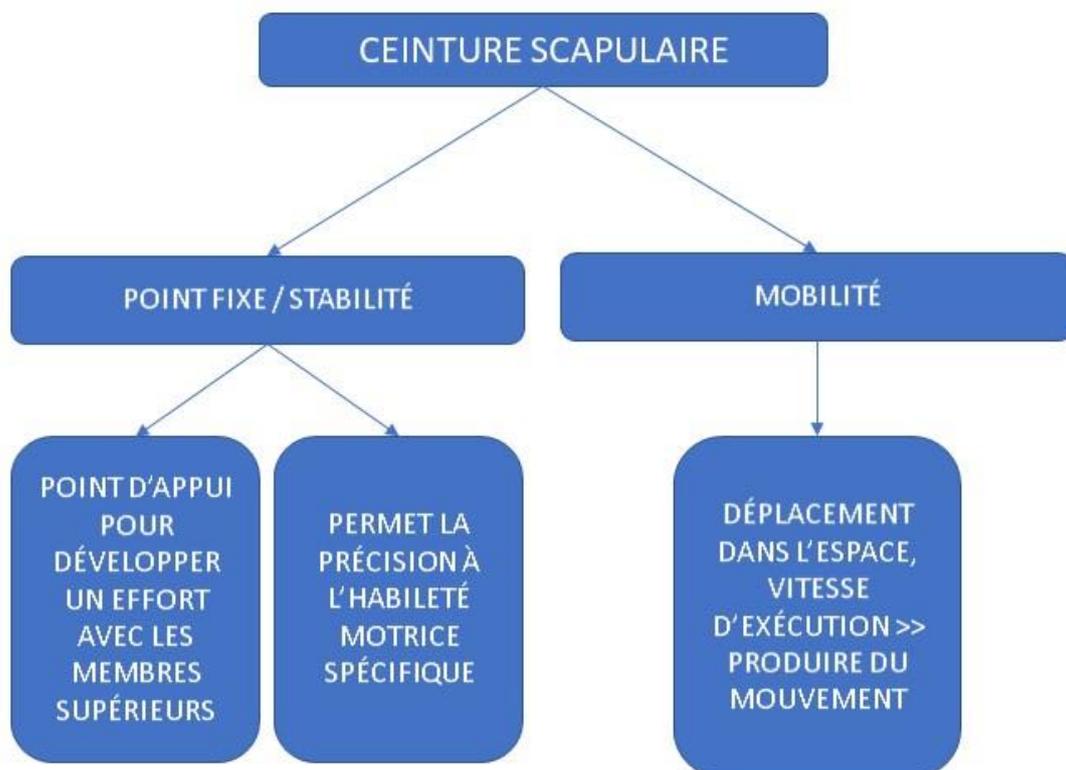
2. SCHÉMATISATION DU FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL LOCOMOTEUR











3. DÉMARCHE D'ANALYSE

La clé de voûte de l'organisation de l'entraînement est l'observation de la gestuelle sportive. Le recours à la vidéo est devenu très facile à utiliser.

Pour bien observer les mouvements effectués, lorsqu'on n'est pas expert dans une discipline, nous allons vous proposer un petit cheminement technique pour arriver à analyser le geste technique.

Première étape

Diviser le corps en trois parties :

- Ceinture scapulaire et membres supérieurs ;
- Le tronc ;
- Ceinture pelvienne et les membres inférieurs.

Ce découpage permet de mieux appréhender les différents mouvements des articulations mises en œuvre sur le(s) geste(s) technique(s)/sportif(s).

Deuxième étape

Associer un verbe simple au geste sportif, qui décrit, pour vous, de la meilleure manière possible, le geste que vous venez de voir.

Cette appropriation doit **vous** permettre de vite vous orienter, **vous** faire clairement comprendre ce que **vous** avez vu.

Par exemple : sauter, courir, frapper...

Troisième étape

Décomposer les gestes sportifs en un mouvement biomécanique simple ou en combinaisons de mouvements biomécaniques

Par exemple : flexion, extension, antépulsion...¹

¹ Cf. Annexe 1 pour un rappel sur les différents types de mouvements

Quatrième étape

L'articulation est le centre du mouvement¹. Il faut donc avant toute autre démarche en faire son analyse. Pour faire une **analyse articulaire** il faut considérer :

- Les articulations mobilisées ;
- Les limitations de la mobilité par les surfaces articulaires ;
- Les moyens d'unions.

L'analyse articulaire permet donc de faire une **analyse mécanique**² :

- Quels leviers ?
- Quelles résistances ?
- Quels sont les vecteurs et les composantes de forces ?
- Quels sont les types de résistances ?

De cette analyse articulaire va découler l'**analyse musculaires**³ :

- Utilisation de muscles mono ou poly-articulaires ;
- Orientation des fibres musculaires ;
- Types de contractions musculaire.

Ces analyses préalables vont permettre de dégager une **analyse des contraintes**⁴ :

- Les contraintes mécaniques ;
- Les contraintes articulaires ;
- Les contraintes musculo-tendineuses ;
- Toutes autres contraintes liées à la charge...

Cinquième étape

Les analyses précédentes doivent permettre de déduire les exercices synthétiques, ou globaux, ou généraux ou basiques adaptés à l'activité.

Comme par exemple les flexions de jambes, le soulevé de terre, l'arraché ses dérivés...

¹ Cf. Annexe 2 pour un rappel sur les différentes articulations et leurs spécificités

² Cf. Annexe 3 pour un rappel sur les principes fondamentaux de biomécanique

³ Cf. Annexe 4 pour un rappel sur la typologie musculaire

⁴ Cf. Annexe 5 pour un rappel sur les différentes contraintes

Sixième étape

L'exploitation des analyses articulaires, mécaniques, musculaires et des contraintes vous donnera la possibilité de trouver des **exercices d'assistance** (exercices qui vous serviront dans l'optimisation de la discipline, tout en complétant l'(es) exercice(s) synthétique(s) et en faisant appel aux exercices de postures).

L'exploitation des analyses articulaires, mécaniques, musculaires et des contraintes vous donnera la possibilité de trouver des **exercices complémentaires** (exercices qui vous serviront dans l'optimisation de la discipline, tout en complétant l'(es) exercice(s) synthétique(s)).

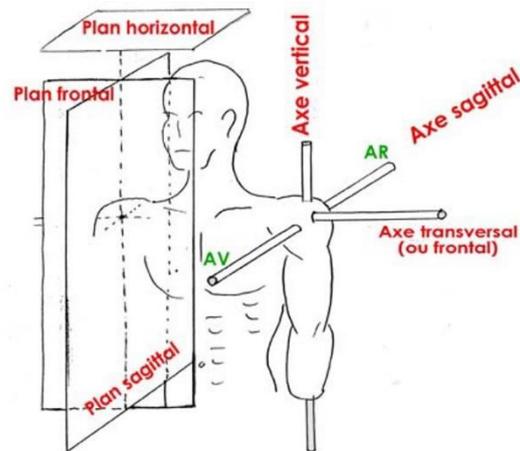
ANNEXE 1 : LES MOUVEMENTS

Les mouvements s'ordonnent :

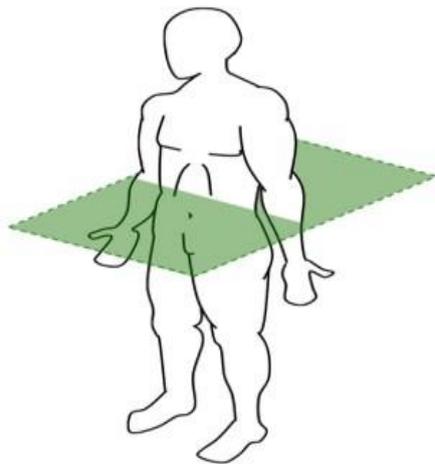
- Dans les plans de l'espace
- Autour d'un axe (mécanique) traversant les articulations sollicitées :

- Axe sagittal
- Axe transversal
- Axe vertical

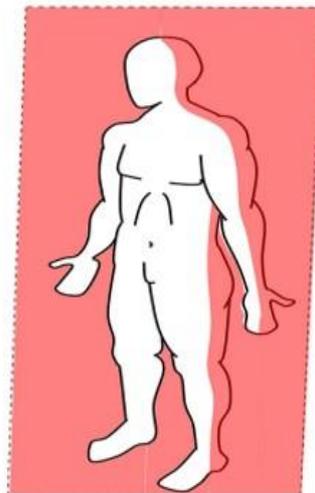
Ces axes se combinent dans les gestes « complexes ».



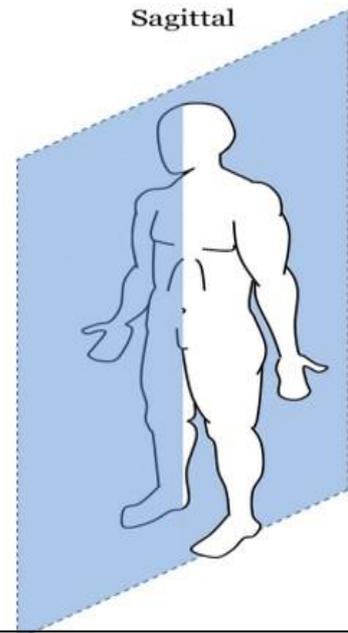
Transverse



Frontal



Sagittal



Le plan transversal :

Divise le corps en parties supérieure et inférieure. Les mouvements du haut ou du bas sont : pronation, supination, rotation interne ou externe.

Le plan frontal :

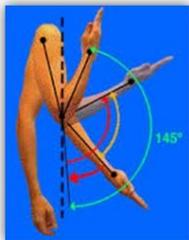
Divise le corps en corps antérieur et postérieur. Les mouvements visibles de face sont : adduction, abduction et inclinaison.

Le plan sagittal :

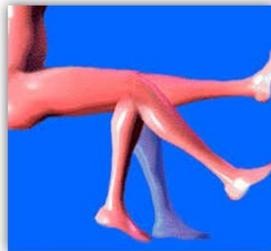
Divise le corps en parties droite et gauche. Les mouvements sont visibles de profil portant une région du corps en avant ou en arrière : flexion, extension, antépulsion, rétropulsion, flexion dorsale et flexion plantaire.

Nos mouvements vont donc s'organiser dans ces plans, autour de ces axes en mouvements biomécaniques simples :

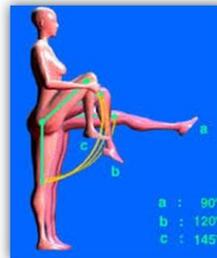
FLEXION-EXTENSION



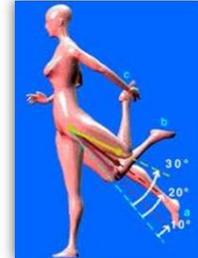
Flexion/Extension du coude



Flexion/Extension du genou

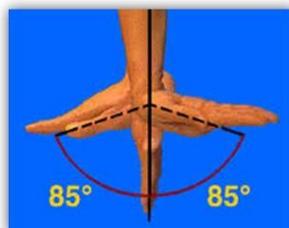
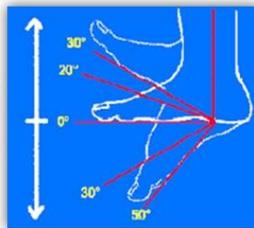


Flexion/Extension de la hanche



Flexion/Extension de la hanche

Flexion dorsale
Flexion plantaire



Flexion/Extension de la main



Flexion/Extension du rachis

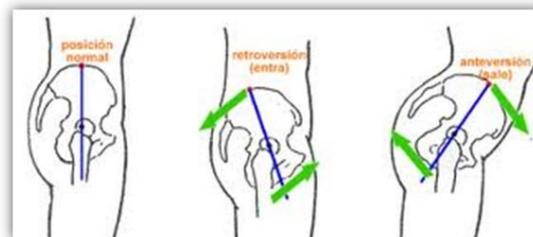
ANTEPULSION-RETROPULSION / ANTEVERSION- RETROVERSION



Antépulsion du bras



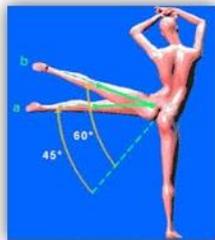
Rétropulsion du bras



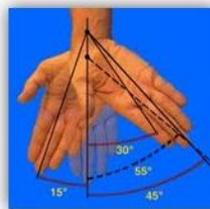
Rétroversion du bassin

Antéversion du bassin

ABDUCTION-ADDUCTION



Abduction de la jambe



Abduction et adduction de la main

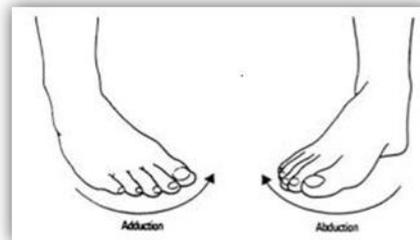
Pour l'adduction complète de la jambe une flexion ou extension de hanche préalable est obligatoire. Pour l'adduction du bras une antépulsion ou rétropulsion préalable est obligatoire



Adduction de la jambe



Abduction du bras



Abduction et adduction du pied



Adduction du bras



Abduction de la scapula

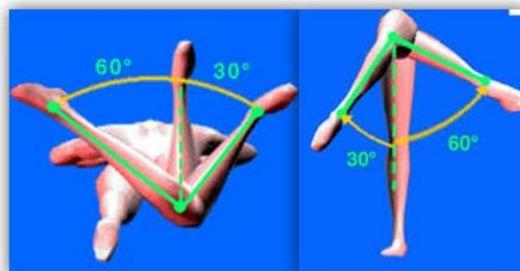


Adduction de la scapula

ROTATION INTERNE-ROTATION EXTERNE



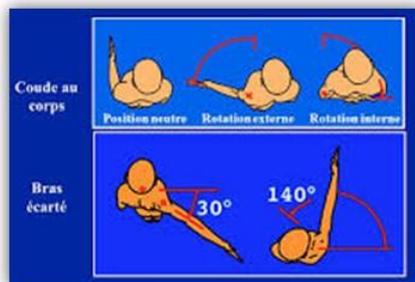
Rotation externe de l'épaule coude fléchi



Rotation interne et externe de la jambe genou fléchi



Rotation externe de l'omoplate : sonnette externe



Rotation interne et externe de l'épaule/bras coude fléchi ou bras tendu

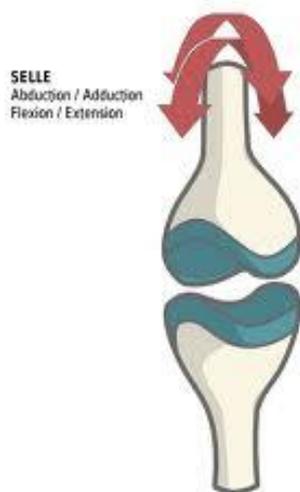
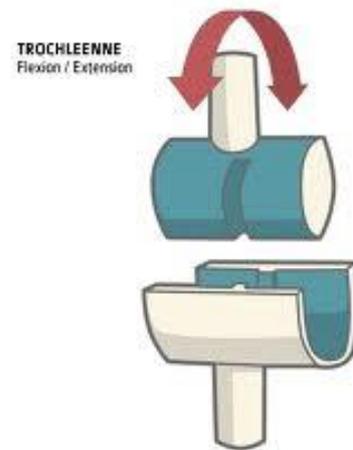
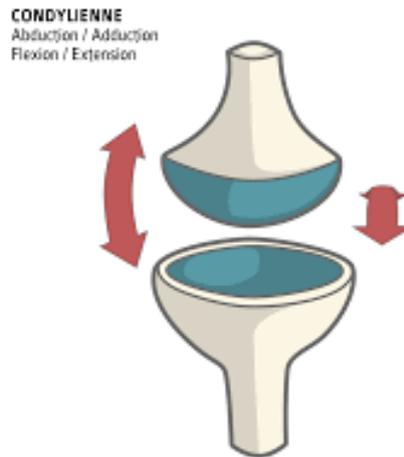
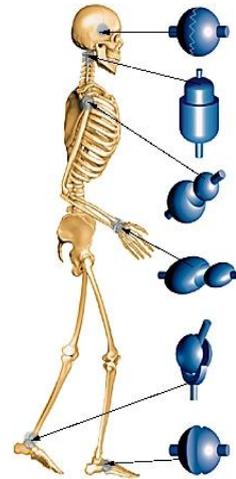


Rotation interne de l'omoplate : sonnette interne

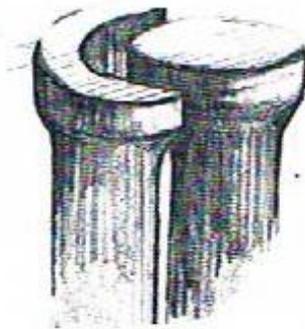
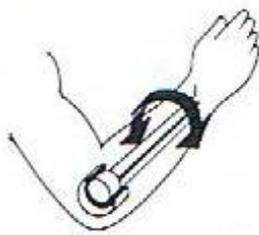
ANNEXE 2 : LES ARTICULATIONS

Comme le montre le schéma ci-dessous, chaque articulation a une forme spécifique correspondant aux mouvements et aux contraintes à subir :

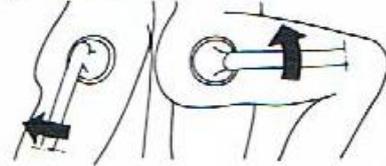
- Sphériques
- Ovoides
- En selles
- Plates
- Pivot
- Trochléennes



Poulie à 1 axe



Sphérique à 3 axes



Extension

Flexion

Pronation-Supination

Selle à 2 axes



Rotation int.

ext.

Flexion Adduction

Extension Abduction



Adduction

Abduction

Ovoïde à 2 axes



*Flexion
Extension*

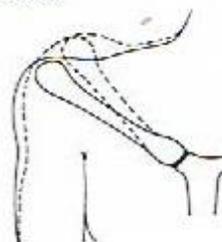
*Adduction
Abduction*

Charnière à 1 axe



Flexion Extension

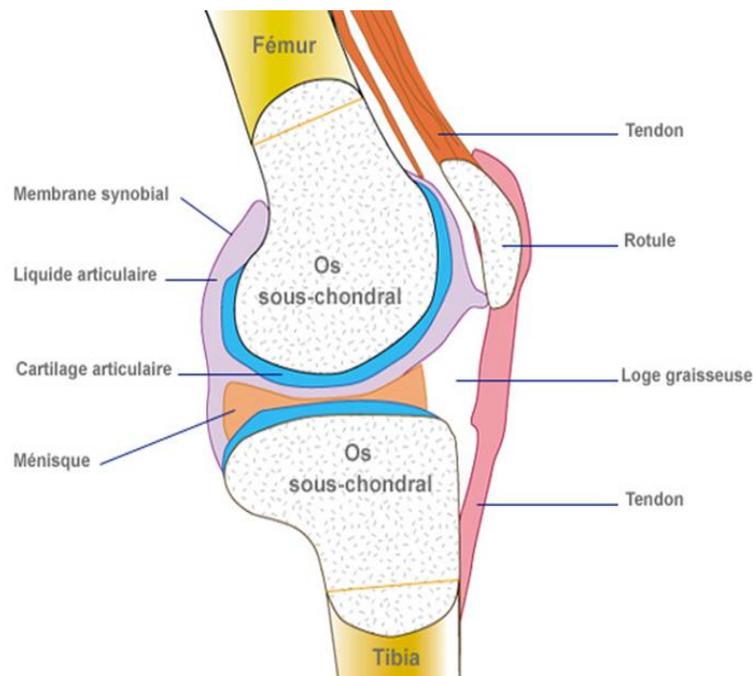
Plane à 3 axes



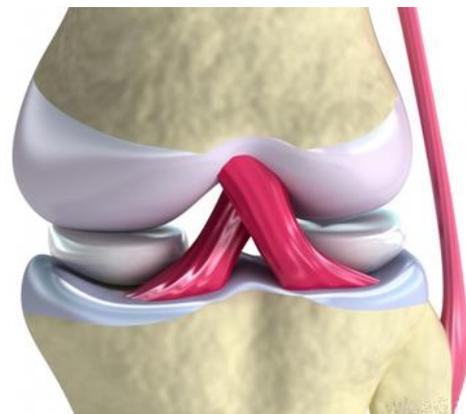
Petits mouvements en tous sens

ANATOMIE D'UNE ARTICULATION :

- La membrane synoviale : elle tapisse l'intérieur de la capsule articulaire et produit de la synovie ;
- Le liquide synovial : visqueux, transparent ou jaunâtre, il évite les frictions en lubrifiant, aide à absorber les chocs (secondairement à fournir de l'oxygène, des nutriments ; à éliminer le CO² et les déchets métaboliques) ;
- La capsule articulaire ou manchon fibreux : c'est un ensemble de tissus organiques en forme de manchon.
- Le ligament : c'est une bande de tissu conjonctif fibreux composée principalement de collagène. Les ligaments connectent l'os à l'os. Ils protègent l'intégrité de l'articulation. Le ligament est très peu vascularisé, d'où sa fragilité.

**LE LIGAMENT**

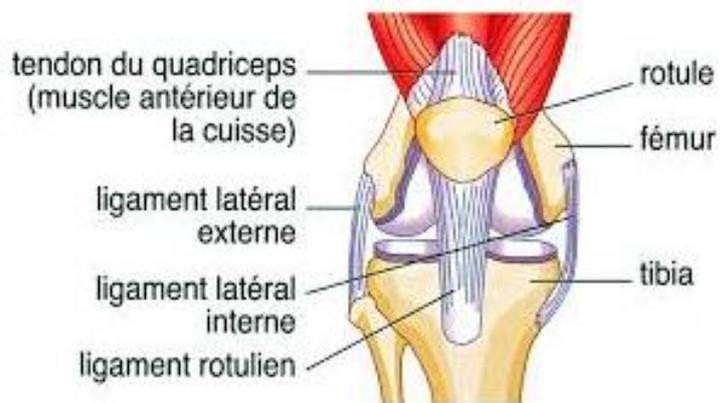
- C'est une courte bande de tissu conjonctif fibreux essentiellement composée de collagène ;
- Il connecte un os à un autre os au sein de l'articulation ;
- Certains ligaments limitent la mobilité des articulations et empêchent certains mouvements ;
- Il protège l'intégrité de l'articulation : il est un frein aux entorses et aux luxations ;
- Il est très innervé : capteurs proprioceptifs ;
- Il est très peu vascularisé.



LE TENDON

Il est en quelques sortes le ligament actif des articulations :

- Il relie le muscle à l'os ;
- Il est très résistant aux différentes contraintes grâce aux fibres de collagènes ;
- Il stabilise l'articulation avec l'aide du muscle ;
- Il transmet les forces musculaires aux pièces osseuses ;
- Il est peu vascularisé ;
- Il est très innervé et fournit une information précise sur la charge tractée et la position du membre.



Tendon d'Achille



ANNEXE 3 : NOTIONS FONDAMENTALES DE BIOMÉCANIQUE

LE LEVIER

C'est une pièce rigide et allongée, en liaison pivot ou en appui par rapport à une partie fixe, qui permet de faire un mouvement.

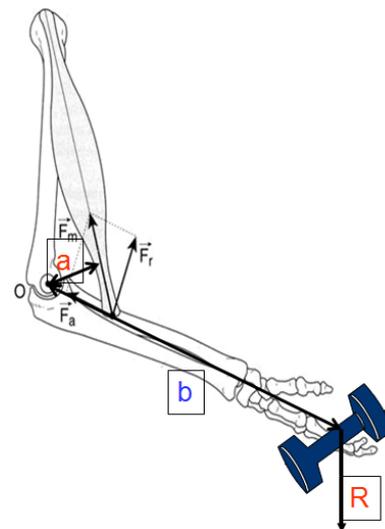
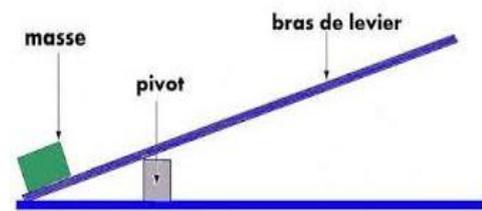
Un levier peut être utilisé de deux manières :

- Pour amplifier un mouvement, en amplitude ou en vitesse
- Pour amplifier un effort

Les deux utilisations sont contradictoires : l'amplification du mouvement se fait aux dépens de l'effort, et l'amplification de l'effort se fait aux dépens de la vitesse et de l'amplitude du mouvement.

LE BRAS DE LEVIER

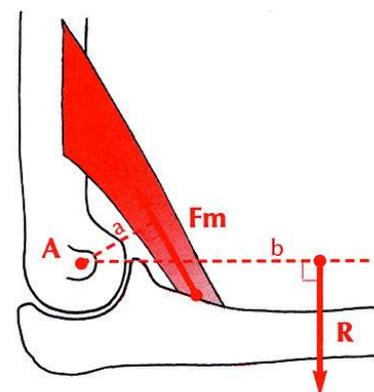
Il est la distance séparant une extrémité du levier de son point d'appui. C'est aussi le rapport des deux bras, qui donne l'amplitude de l'effet de levier ou l'augmentation du type de travail souhaité.



L'APTITUDE D'UN MUSCLE À DÉVELOPPER DE LA FORCE

L'aptitude d'un muscle à développer une force (F) et donc à générer un mouvement dépend de sa position par rapport à l'articulation mobilisée.

Le principe de levier permet donc d'augmenter l'effet d'une force par rapport à une résistance



A = axe articulaire

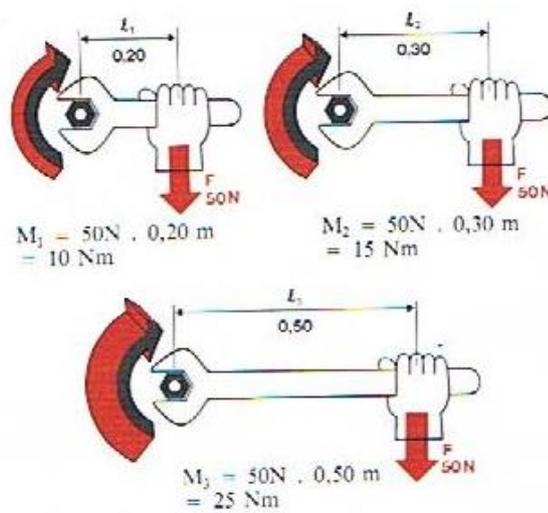
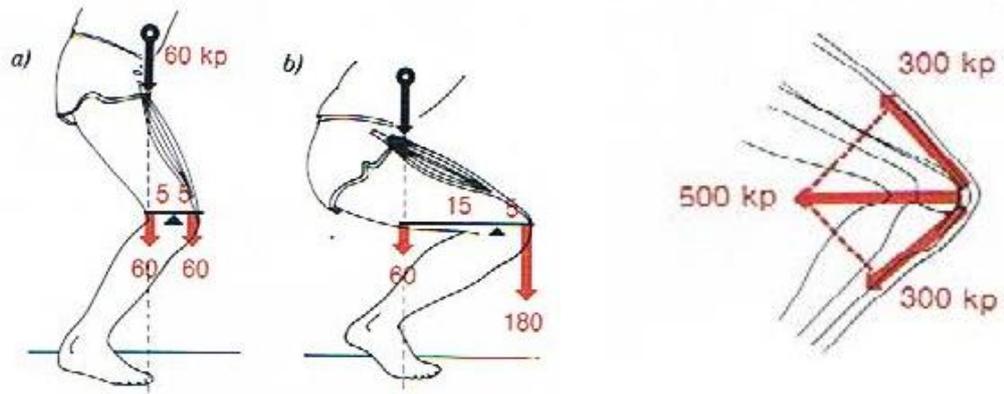
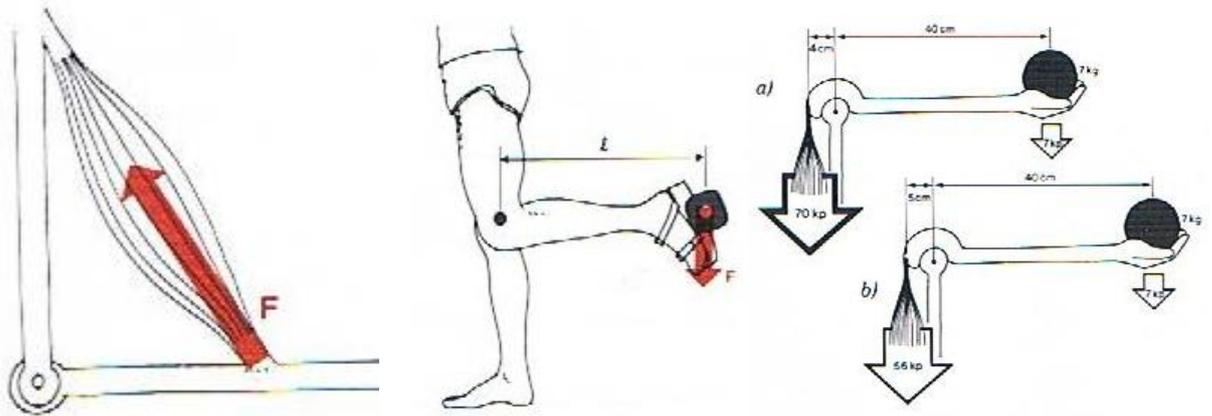
Fm = force musculaire

R = résistance (charge)

a = bras de levier musculaire

b = bras de levier résistant

$$F_m = \frac{R \times b}{a}$$



LES DIFFÉRENTS LEVIERS

	LEVIERS INTER-APPUIS	LEVIERS INTER-RÉSISTANTS	LEVIERS INTER-PUISSANTS
EXEMPLES ANATOMIQUES	<p>tête</p>	<p>cheville</p>	<p>coude</p>
EXEMPLES MÉCANIQUES	<p>balance</p>	<p>brouette</p>	<p>grue</p>
AVANTAGES & INCONVÉNIENTS	P peut être égal à R à l'équilibre	Efficacité de P (+) Amplitude de P (-)	Efficacité de P (-) Amplitude de P (+)

ANNEXE 4 : TYPOLOGIE ET FONCTIONNEMENT MUSCULAIRE

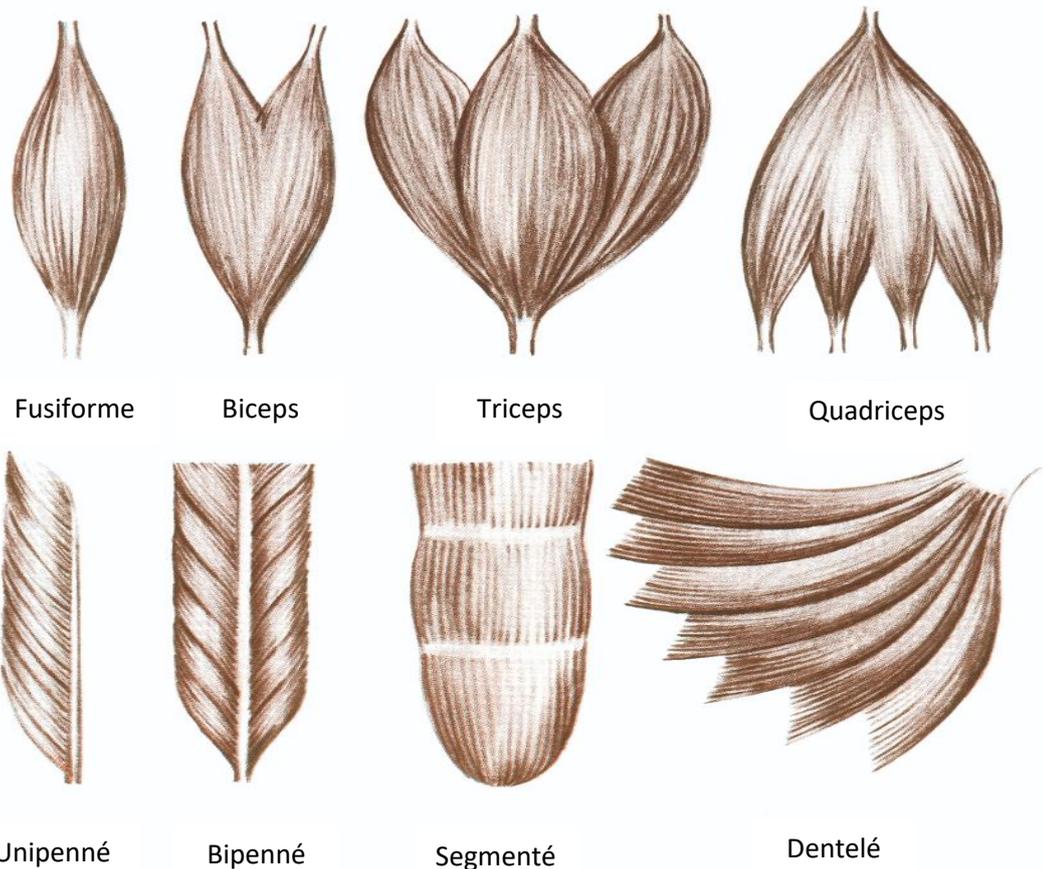
Le complexe permettant le mouvement est le système musculosquelettique. Les organes moteurs du mouvement, ou **effecteurs** sont appelé muscles.

Les muscles squelettiques : ce sont des muscles striés qui peuvent se contracter sous l'influence de la volonté. Ils mobilisent en particulier le système squelettique ;

Les muscles lisses : ce sont des muscles non striés qui échappent à l'influence de la volonté ; ils sont localisés dans les viscères, les vaisseaux et la peau ;

Les muscles mixtes : le muscle cardiaque est un muscle strié, mais indépendant de l'influence de la volonté.

En règle générale, leurs noms proviennent de leurs formes, ou plus exactement du nombre de « chefs » (cep) dont ils sont composés.



Les muscles obéissent également à 4 lois d'actions musculaires établies (**KAPANDJI**) :

1 - LOI DE MULTIVALENCE FONCTIONNELLE

Un muscle n'a pas une, mais plusieurs actions. L'action unique est l'exception car rares sont les muscles mono-articulaires mobilisant une articulation, un seul axe et donc un seul degré de liberté (brachial antérieur)

De fait les muscles sont bi ou polyarticulaires et croisent des articulations à deux ou trois axes. Ils ont donc plusieurs actions possibles et le plus souvent simultanées.

Exemple :

- Le biceps brachial : Il est fléchisseur du coude mais c'est aussi un puissant supinateur ; mais aussi abducteur de l'épaule, coapteur de l'épaule par sa longue portion et fléchisseur par la courte portion. En conclusion il pourrait à lui tout seul soulever un objet en avant du corps

2- LOI DE SYNERGIE

Un mouvement élémentaire est rarement produit par un seul muscle. Cela nécessite en général l'action synergique de deux ou plusieurs muscles qui sont alors dits agonistes.

Comme par exemple, le biceps brachial et le brachial antérieur qui provoquent par une action simultanée la flexion du coude ; la flexion du genou met en jeu de nombreux muscles, comme le biceps crural, le poplité, le droit interne, le demi membraneux, le demi tendineux et le couturier, qui, pris séparément, possèdent de multiples autres actions.

L'avantage de cette synergie musculaire est qu'elle permet des suppléances lorsqu'un muscle est défaillant.

3- LOI DE VARIATION ET D'INVERSION DES ACTIONS :

L'action d'un muscle sur un bras de levier squelettique subit des variations quantitatives et qualitatives au cours du même mouvement :

- Variations quantitatives : changement d'intensité de la force ;
- Variations qualitatives : inversion de l'action.

Par exemple, prenons le cas du moyen adducteur qui, à partir de la position zéro de la hanche est en premier fléchisseur, puis, à partir d'une flexion de 60° devient extenseur et donc freine la flexion.

4- LOI D'ANTAGONISME

La contraction d'un muscle est fonctionnellement liée à celle de son ou de ses antagonistes. Ils sont mis en jeu : soit successivement (lors de l'amortissement des mouvements amples et rapides), soit simultanément.

Cela semble paradoxal en trois circonstances :

- Dans le maintien et le réglage du tonus de posture ou le verrouillage des chaînes articulaires, en particulier au niveau rachidien, cela nécessite la mise en jeu simultanée des muscles antagonistes ;
- Dans l'uniformisation des mouvements lents et précis qui sont le résultat du déplacement d'un équilibre dynamique entre muscles antagonistes ;
- Dans l'élimination des composantes indésirables d'un muscle ou d'un groupe musculaire pour faire apparaître une action pure.

LA FORCE D'UNE CONTRACTION

Elle dépend :

- Du nombre de fibres musculaires en actions (le biceps environ 580 000) ;
- Du nombre de fibres nerveuses (environ 800 pour le biceps, soit 700 fibres musculaires par fibres nerveuses) ;
- Du nombre d'impulsions nerveuses par unité de temps (Soit environ 5 à 50 impulsions par seconde)

Gestion des fibres à l'effort :

- Fonctionnement d'auto économie ;
- Rotation du travail des fibres en fonction de l'effort ;
- Plus l'effort est intense, plus le besoin de fibres est important ;
- Plus le besoin de fibre est important et moins de rotations sont possibles ;
Lorsqu'il n'y a plus de rotations possibles, le nombre d'impulsions augmente.

PLUSIEURS FORMES DE TRAVAIL

Anisométrique :

Production d'une force avec changement de longueur du muscle.

Concentrique : Raccourcissement du muscle ;
Contraction dynamique.

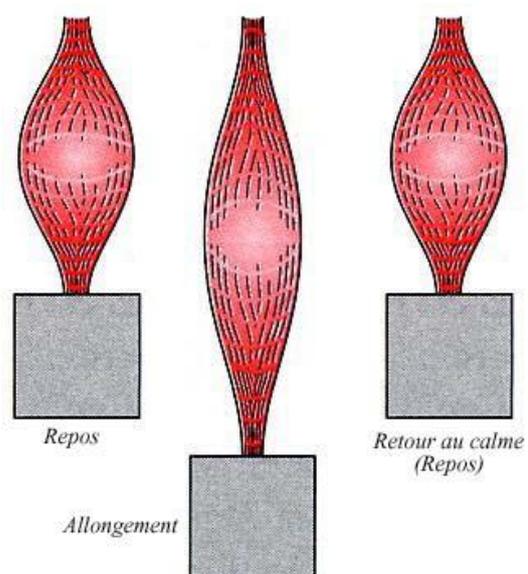
Excentrique : Allongement du muscle ;
Contraction dynamique

Isométrique :

Production d'une force sans changement de longueur du muscle.

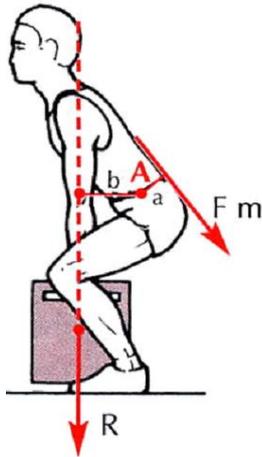
Isométrie maximale

Endurance isométrique ou isométrie totale



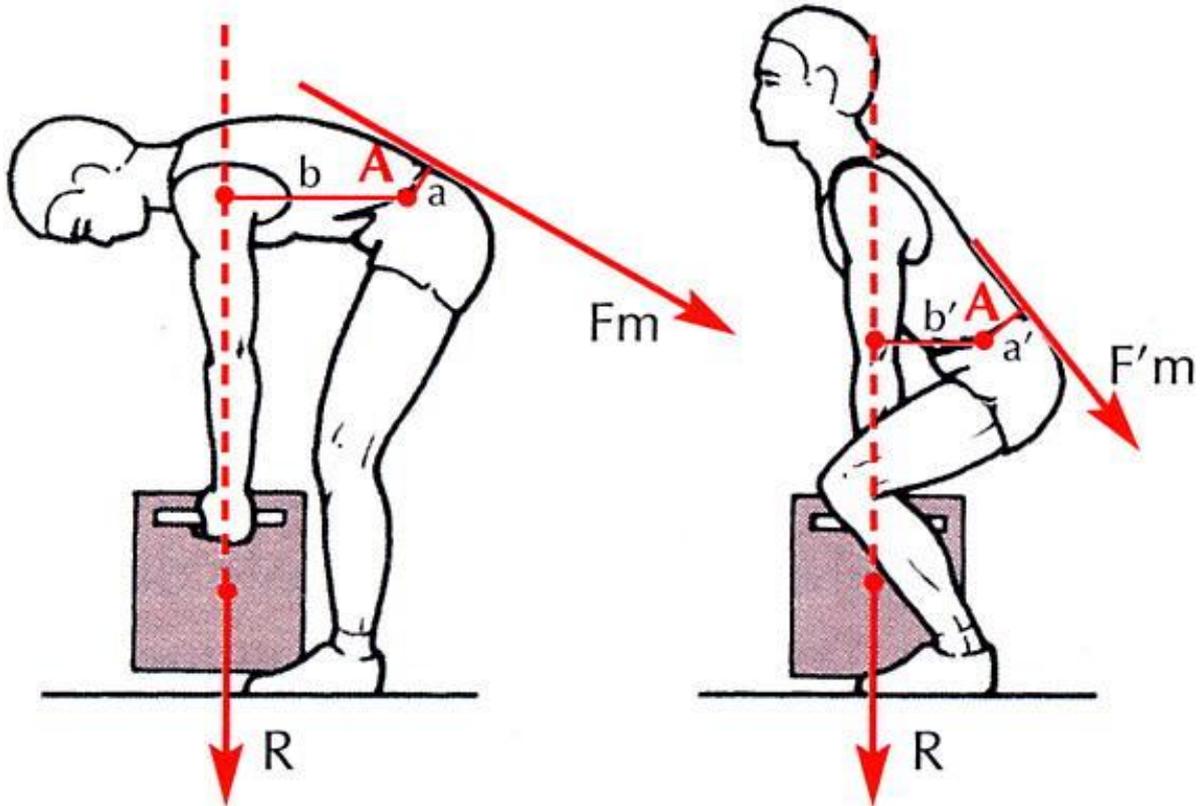
ANNEXE 5 : L'ANNALYSE DES CONTRAINTES

EXEMPLE D'APPLICATION SUR UN MOUVEMENT



a = distance entre l'axe de la force des muscles paravertébraux (F) et le centre articulaire (L5) = **5 cm**

b = distance entre le centre articulaire (L5) et la charge (varie en fonction du placement)



- I. La voûte interne (mediala) appelée aussi arche du mouvement.
- II. La voûte externe (lateral) ou arche de l'appui.
- III. La voûte transversale (ou voûte antérieure).

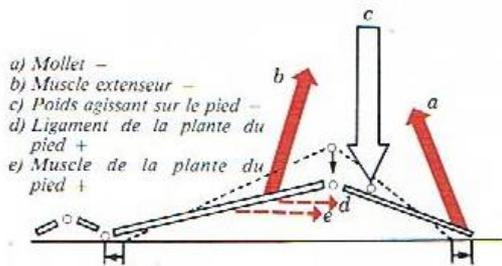
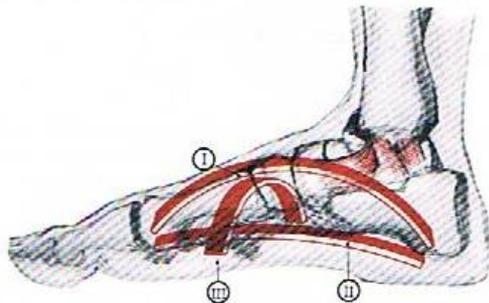
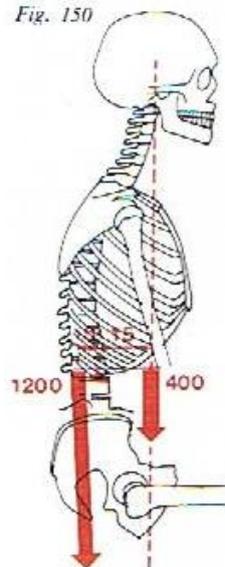


Fig. 149

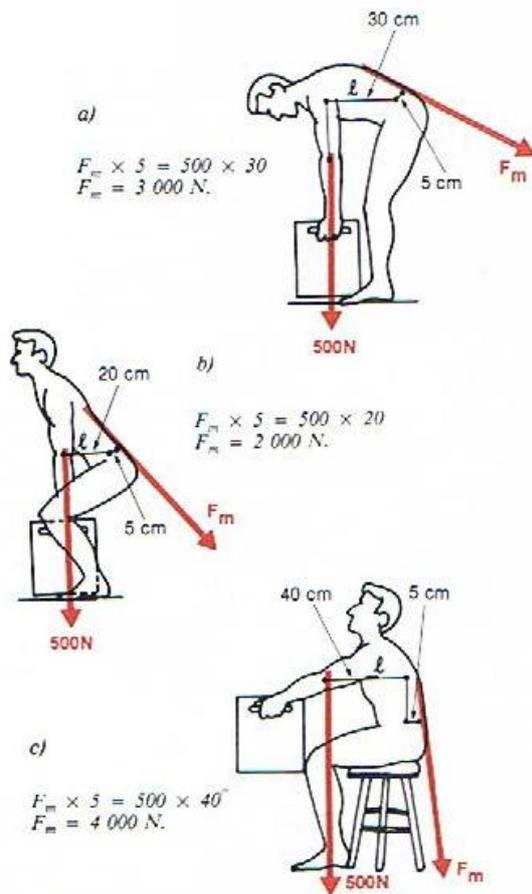


En position debout, la verticale qui passe par le centre de gravité tombe 5 cm environ en avant du centre du disque L3. Les muscles du rachis passent 5 cm environ derrière le disque, c'est pourquoi la force musculaire doit être égale à 400 N pour empêcher la partie inférieure du corps de tomber en avant.

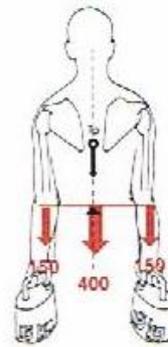
Fig. 150



En position assise, la verticale qui passe par le centre de gravité tombe 15 cm environ en avant de L3. Le bras de levier des muscles est de 5 cm environ (comme lors de la position debout), ce qui nécessite une force de 1 200 N pour obtenir un équilibre. La force appliquée sur le disque sera de $1\ 200 + 400 = 1\ 600\text{ N}$.

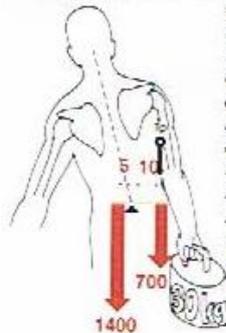


Lever symétrique



Charge totale
 $150\ N + 150\ N + 400\ N = 700\ N$ (on peut également se reporter à ce qui est indiqué dans la légende de la figure 145).

Lever asymétrique



Observer que le centre de gravité résultant du corps et de la charge tombe à 10 cm latéralement par rapport à L3 (le centre de gravité résultant se situe à la droite de L3, bien que le sujet se soit incliné à gauche). Les muscles du rachis doivent exercer une contraction avec une force de :
 $F_m \times 5 = 700 \times 10.$
 $F_m = 1\ 400\ N.$
 Charge totale :
 $700\ N + 1\ 400\ N = 2\ 100\ N.$