



BIOMÉCANIQUE ET ANATOMIE FONCTIONNELLE



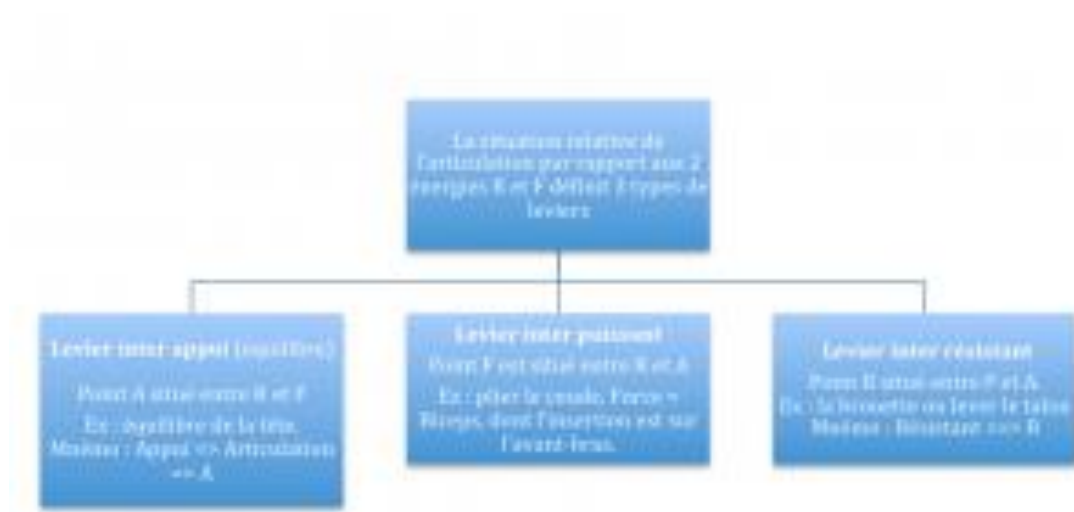
L'objectif de ce cours est de comprendre les bases de la biomécanique. En effet, le rôle de l'éducateur sportif est de connaître :

1. L'**anatomie** pour comprendre, expliquer et corriger le geste du pratiquant afin de l'optimiser, le tout, dans un cadre sécuritaire
2. Où et comment s'appliquent les **forces**
3. Les différents types de **leviers**
4. Les différents types de **contractions musculaires**
5. Les **courses (= amplitude) articulaires et musculaires** par rapport aux mouvements

QU'EST-CE QU'UN LEVIER ?

En biomécanique, un levier est un système rigide (os) sur lequel agit une force (musculaire) pour vaincre une résistance (en général la gravité) en prenant appui sur un point fixe (articulation).

Nb : la force ne s'applique pas directement au muscle mais à son insertion (le tendon). C'est pour cela que l'on se fait des tendinites lorsque les tendons sont trop fragiles ou pas assez échauffés.



La grande majorité des mouvements en musculation sont des **leviers inter puissant**.

Glossaire :

- **F = Force** : la force est exercée par votre muscle
- **R = Résistance** : la résistance provient de la gravité ou bien d'un poids couplé à la gravité.
Prenons l'exemple d'un biceps. Lorsque vous faites une flexion de votre avant-bras (même sans haltère), votre biceps se contracte légèrement. Ceci provient de la gravité. Si vous avez un haltère, votre biceps se contracte davantage, mais ceci est toujours lié à l'effet de la gravité sur l'haltère.

La force et la résistance sont donc toujours en opposition, en duel. Si c'est la force qui remporte le duel, vous parvenez à faire votre mouvement (votre curl biceps). Si c'est la résistance qui l'emporte, vous n'arrivez plus à soulever votre haltère et votre bras retombe. La résistance remporte le duel.



- **A = Articulation**
- **Newton** : unité de mesure de force (1kg = 10N environ (9,81 exactement))
- **Centre de gravité** : c'est le point où agit la force de gravité terrestre (la pesanteur) sur l'organisme.

Chez l'homme = L3 (3^{ème} vertèbre lombaire) – si le centre de gravité tombe dans le **polygone de sustentation**, on est en équilibre.

=> On élargit le polygone de sustentation si on écarte les pieds (plus de stabilité)

- **Polygone de sustentation** : zone virtuelle délimitée par les bords des points d'appui
- **Moment cinétique** (que l'on nomme : M_0) : si une R (Résistance) agit à une distance d'un point, on dit que cette R exerce un moment cinétique (contrainte) par rapport à ce point.

=> **$M_0 = \text{Résistance} \times \text{Longueur du levier}$**

Ex : Richard fait un curl biceps avec un haltère de 5kg, donc environ 50 N (50 Newton). Son avant-bras fait 30 cm de long, soit 0,3 mètre. Le moment cinétique fait donc $50 \times 0,3 = 15 \text{ N/m}$ (15 Newton par mètre). Le moment cinétique est plus important que celui exercé par Babeth, dont l'avant-bras fait 20cm ($M_0 = 50 \times 0,2 = 10 \text{ N/m}$). L'haltère paraîtra donc plus lourd si vous avez un avant-bras long.

Comment se calcule la force nécessaire à développer en fonction de la résistance, du levier et du bras de levier ?

$$F = (R \times L1) / L2$$

Avec F la Force, R la Résistance et :

- L1 = la longueur du levier, c'est-à-dire la longueur de l'os (ce que l'on a vu dans le moment cinétique)
- L2 = le bras de levier, c'est-à-dire la distance entre l'articulation et l'insertion musculaire.

=> Cette différence entre levier et bras de levier est fondamentale. Il est important de la connaître. Le bras de levier est une distance, en général, courte, entre une articulation et l'insertion musculaire. Par exemple, dans le cadre du biceps brachial, le bras de levier est la distance entre l'articulation du coude et l'insertion du biceps sur le radius, soit en général quelques centimètres.

Ex : un sportif veut faire un biceps. Le bras de levier de son biceps brachial (distance entre son coude et l'insertion de son biceps sur le radius) est de 5cm (soit 0,05 mètre). Pour soulever un haltère de 5 kg (soit 50 Newton), avec son avant-bras qui fait 30cm (soit 0,3m), il va avoir besoin d'une force de $(50 \times 0,3) / 0,05 = 300$ Newton (soit environ 30kg).

Si un autre sportif qui a l'avant-bras aussi long mais un bras de levier plus long (l'insertion de son biceps se fait plus loin du coude), disons 10cm (soit 0,1m), il aura besoin d'exercer une force de seulement $(50 \times 0,3) / 0,1 = 150$ Newton (soit environ 15kg).

=> Globalement, on a plus de force si notre levier est petit (avant-bras court) et si notre bras de levier est important (distance entre l'insertion du muscle et l'articulation). Ceci explique pourquoi dans des sports tels que l'haltérophilie, la gymnastique ou le CrossFit, les athlètes de petite taille et/ou avec des bras de levier importants (plus difficile à savoir) ont un avantage compétitif naturel.

Si l'on développe un peu la formule pour calculer la force

$F = (R \times L1) / L2$, on obtient

$F = M0 / L2$ car le moment cinétique M0 est égal à $R \times L1$.

L'équilibre se trouve donc lorsque $F \times L2 = R \times L1$

BIOMÉCANIQUE ET TRAVAIL CONCENTRIQUE, EXCENTRIQUE ET ISOMÉTRIQUE

Lorsqu'il y a **équilibre** entre la force et la résistance, les leviers osseux sont immobiles. La force exercée par un muscle contrebalance parfaitement la résistance. Il n'y a aucun raccourcissement. C'est ce qu'on appelle un **travail isométrique**.

Lorsqu'il y a un **déséquilibre** entre la force et la résistance, on obtient soit :

- Si la force est supérieure à la résistance (votre muscle arrive à soulever la charge), vous faites un **travail concentrique**. Les insertions du muscle se rapprochent (par exemple, pour un curl biceps, votre avant-bras se rapproche de votre épaule).
- Si la force est inférieure à la résistance (votre muscle n'arrive pas à soulever la charge), vous faites un **travail excentrique**. Les insertions du muscle s'éloignent. Bien entendu, le travail excentrique peut être volontaire si vous êtes capable de soulever la charge mais que vous exercez volontairement une force moindre.

=> Un curl biceps est théoriquement un travail concentrique (lorsque l'avant-bras se rapproche de l'épaule) puis excentrique (lorsque l'avant-bras s'éloigne de l'épaule). Dans le jargon, on va simplifier en disant que l'on fait un travail concentrique.

Les courses de mouvement

En biomécanique, on distingue 4 courses de mouvement :

- Course interne = raccourcissement (travail concentrique)
- Course externe = allongement (travail excentrique)
- Course totale = course interne + course externe
- Course moyenne = à mi-chemin
Ex : je vais un demi curl biceps ou un demi squat

Dans l'ordre décroissant de force (on a le plus de force sur la premier mouvement et le moins de force sur le dernier), nous avons le travail :

- Excentrique (travail négatif)
- Isométrique
- Concentrique
- Pliométrique

Un exercice pliométrique consiste à faire travailler en puissance et explosivité un ou plusieurs muscles du corps. Un exercice pliométrique est constitué d'un étirement rapide des agonistes, suivi d'une contraction maximale, utilisant principalement le poids du corps comme outil.

Nb : le muscle antagoniste (= muscle opposé) se contracte même dans la phase concentrique du muscle agoniste (= celui qui travaille principalement). Il permet de contrôler le mouvement. Sans lui, il n'y aurait pas de maîtrise. Par exemple, sans le triceps brachial, la phase concentrique du curl biceps serait dangereuse : on risquerait de se prendre la barre dans le nez.

BIOMÉCANIQUE ET PLANS (FRONTAL, SAGITTAL ET HORIZONTAL)

Les mouvements sont définis à partir de la position de référence : la **position anatomique**.



Source : [« Anatomie pour le mouvement » de Blandine Calais-Germain.](#)

Dans cette position de référence, le corps est debout, les pieds réunis, parallèles et les bras le long du corps, paumes tournées vers l'avant.

Les mouvements se définissent en direction et en amplitude sur les 3 plans suivant :

- Frontal
- Sagittal
- Horizontal ou transversal

Il est indispensable pour l'examen que vous compreniez bien les 3 plans et que vous soyez capables de dire sur quel plan se fait un mouvement.

Le plan frontal



Il divise le corps entre sa partie antérieure (visage, poitrine, ventre, quadriceps...) et sa partie postérieure (nuque, dos, fessiers, ischio-jambiers, mollets...). C'est le plan dans lequel se font les mouvements principalement visibles de face.

Pour savoir quels mouvements vous pouvez faire sur un plan frontal, imaginez-vous que vous êtes coincés **entre 2 murs parallèles, l'un devant votre visage, l'autre derrière votre tête.**

Quels mouvements pouvez-vous faire dans ce cas ?

Vous pouvez par exemple faire des élévations latérales des membres supérieurs (abduction et adduction des « bras »), des abductions/adductions des membres inférieurs, un développé nuque ou clavicule.

Le plan sagittal



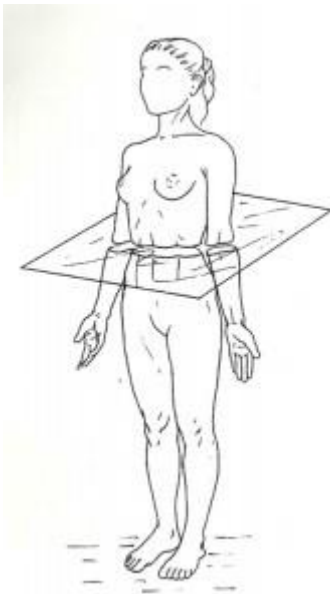
Il divise le corps par une ligne médiane entre sa partie gauche et droite. Les 2 parties sont donc à peu près symétriques (un membre inférieur, un membre supérieur, un œil, une oreille...). C'est le plan dans lequel se font les mouvements principalement visibles de profil.

Pour savoir quels mouvements vous pouvez faire sur un plan sagittal, imaginez-vous que vous êtes coincés **entre 2 murs parallèles, l'un à votre gauche, l'autre à votre droite.**

Quels mouvements pouvez-vous faire dans ce cas ?

Vous pouvez par exemple faire des flexions de jambes (squats), des fentes, des élévations antérieures ou des rétro-pulsions des membres supérieurs (bras vers l'avant ou vers l'arrière).

Le plan horizontal ou transversal



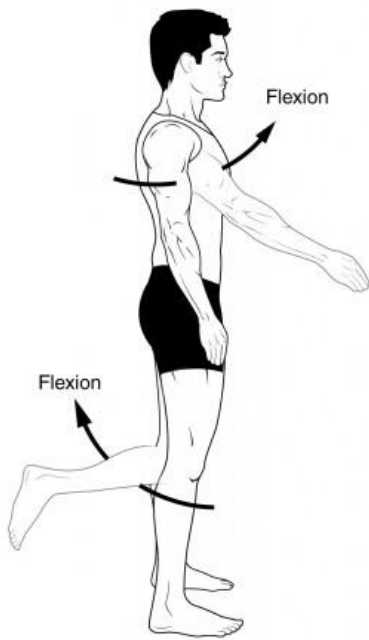
Il divise le corps entre sa partie supérieure et inférieure. C'est le plan dans lequel se font les mouvements principalement visibles d'en haut ou d'en bas.

Il s'agit en général des **rotations**, par exemple les rotations du buste par rapport aux membres inférieurs ou à l'inverse le twist (sur une plaque tournante, rotation des jambes alors que le buste reste fixe).

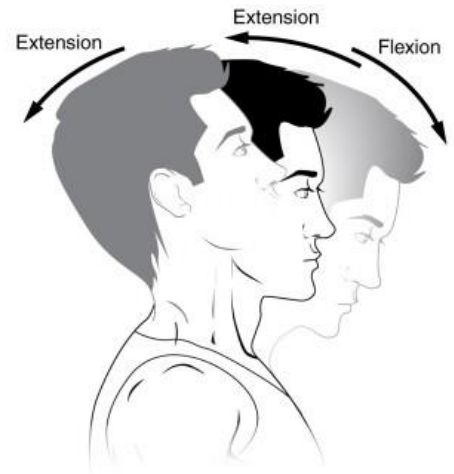
BIOMÉCANIQUE ET TYPES DE MOUVEMENTS

Ces mouvements seront abordés plus en détail dans les paragraphes suivants, mais pour synthétiser, il existe 6 mouvements principaux :

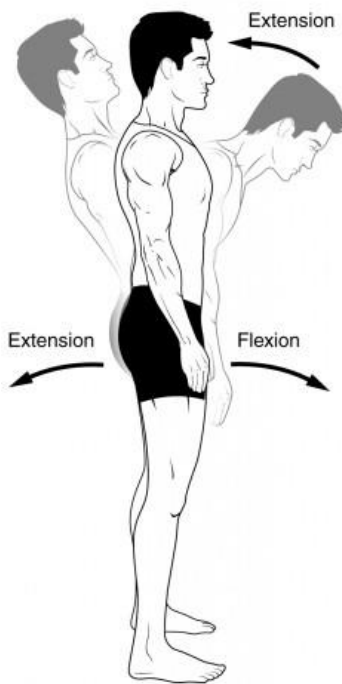
- La flexion
- L'extension
- L'abduction
- L'adduction
- La rotation interne
- La rotation externe



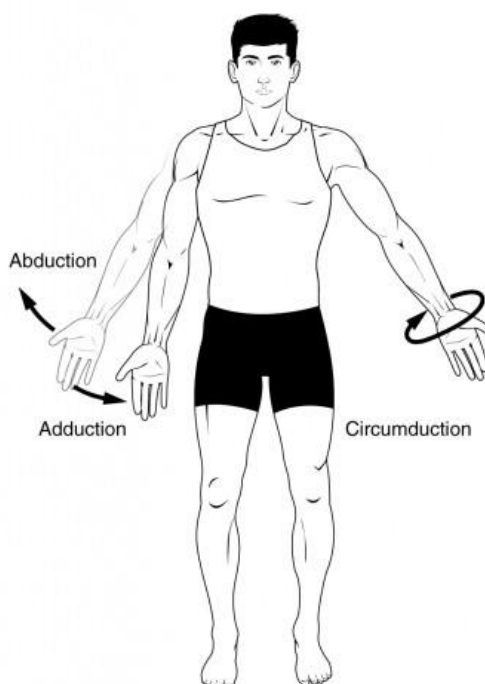
(a) and (b) Angular movements: flexion and extension at the shoulder and knees



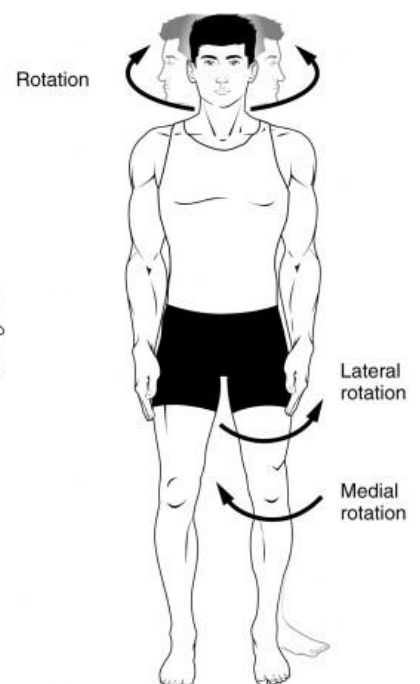
(c) Angular movements: flexion and extension of the neck



(d) Angular movements: flexion and extension of the vertebral column



(e) Angular movements: abduction, adduction, and circumduction of the upper limb at the shoulder



(f) Rotation of the head, neck, and lower limb

Les mouvements peuvent de plus parfois être combinés. Par exemple, on parle de rotation + flexion si l'on fait un Crunch abdos coude/genou opposé (afin de mobiliser davantage les obliques).

On peut parler également de rotation + extension si l'on travaille ses lombaires au banc à lombaires et qu'on y intègre une rotation externe.

Dans le cas de l'épaule, on parle également :

- D'**antéimpulsion**: on lève les bras tendus vers l'avant (ex : élévations antérieures aux haltères pour travailler principalement le deltoïde antérieur)
- De **réimpulsion** : on envoie les bras tendus vers l'arrière

Dans le cas du buste ou du tronc, on parle également d'**inclinaison** latérale. Ce n'est en fait rien d'autre qu'une flexion latérale suivie d'une extension latérale pour revenir.

Flexion : il s'agit généralement du **rapprochement entre 2 segments osseux sur le plan sagittal**. Par exemple, la partie concentrique du curl biceps est une flexion de l'avant-bras sur le bras. Un squat, lorsque l'on passe de la position debout à la position fléchie, est une flexion de la cuisse sur la jambe.

Extension (par opposition à flexion) : il s'agit généralement de **l'éloignement de 2 segments osseux sur le plan sagittal**. Par exemple, la partie excentrique du curl biceps est une extension de l'avant-bras sur le bras. Un squat, lorsque l'on passe de la position fléchie à la position debout, est une extension de la cuisse sur la jambe.

Abduction : il s'agit de **l'éloignement d'un membre par rapport à l'axe du corps, visible depuis le plan frontal** (si l'on est placé en face ou derrière). Par exemple, les élévations latérales aux haltères, dans leur partie concentrique (on lève les haltères jusqu'à hauteur des épaules), est une abduction du membre supérieur. De même, on parle d'abduction du membre inférieur lorsque ce dernier s'éloigne de l'axe du corps.

Adduction (par opposition à abduction) : il s'agit de **rapprochement d'un membre par rapport à l'axe du corps, visible depuis sur le plan frontal**. Par exemple, les élévations latérales aux haltères, dans leur partie excentrique (on rabaisse les haltères de la hauteur des épaules jusqu'en bas), est une adduction du membre supérieur. De même, on parle d'adduction du membre inférieur lorsque ce dernier se rapproche de l'axe du corps.

Moyens mnémotechniques : si comme moi, vous avez des difficultés à vous rappeler de la différence entre abduction et adduction, je vous donne 2 astuces qui pourraient vous aider à mieux retenir :

- Dans l'alphabet, « **b** » vient avant « **d** ». De même on commence par éloigner un membre de l'axe du corps (abduction) avant de le rapprocher (adduction)
- « **d** » comme « **dedans** » : on force « dedans », pour ramener le membre le membre supérieur ou inférieur (les adducteurs sont situés en « dedans » de la cuisse)

Rotation interne : lorsque la rotation se fait « en dedans ».

Par exemple, en partant de la position anatomique, lorsque le pouce se rapproche de l'axe du corps via la rotation du coude, ou encore lorsque le gros orteil se rapproche de l'axe du corps via une rotation de la hanche.

Rotation externe (par opposition à rotation interne) : lorsque la rotation se fait « en dehors ».

Par exemple, lorsque vous avez les bras tendus et paumes de main vers vos cuisses, si vous

souhaitez vous mettre dans la position anatomique, vous allez faire une rotation externe du coude. De même, si vous souhaitez passer un ballon avec votre pied devant vous, vous allez au préalable effectuer une rotation externe de la hanche.

BIOMÉCANIQUE ET MOUVEMENTS PAR SEGMENT DU CORPS

LE RACHIS DORSAL ET LOMBAIRE

Mouvements possibles :

- Principaux muscles sollicités : grand droit et obliques
- Principaux muscles sollicités : paravertébraux, principalement dans la région lombaire. L'extension du rachis redresse la cyphose dorsale et accentue la lordose lombaire
- Principaux muscles sollicités : obliques
- **Rotation + flexion.** Principaux muscles sollicités : grand oblique + petit oblique opposé (car ses fibres sont orientées dans le sens opposé).
Ex : si l'on fait une rotation + flexion du coude droit vers le genou gauche (Crunch avec rotation), c'est le grand oblique droit (agoniste) qui travaille et le petit oblique gauche (antagoniste).
- **Rotation + extension** (ex : relevé lombaire où l'on part sur un côté). Principaux muscles sollicités: paravertébraux du même côté

Nb : les vertèbres lombaires sont beaucoup plus mobiles que les vertèbres dorsales

LA CEINTURE SCAPULAIRE (ÉPAULES)



Mouvements possibles :

- **Antéimpulsion** (on lève le « bras » en avant). Principaux muscles sollicités : le deltoïde antérieur.
- **Réimpulsion** (on lève le « bras » en arrière). Principaux muscles sollicités : le deltoïde postérieur

- **Abduction** (élévation latérale qui écarte le « bras » du corps). Principaux muscles sollicités : deltoïde moyen et sus épineux (p. 126). Le sus-épineux fait partie des 4 muscles de la coiffe des rotateurs.
- **Adduction** (rapproche le « bras » du centre du corps lorsqu'il est sur le côté). Principaux muscles sollicités : grand pectoral + grand dorsal + grand rond (p. 131)
nb : ce dernier mouvement est très rarement travaillé alors qu'il est très important pour l'équilibre de la ceinture scapulaire. On peut le travailler par exemple avec des poulies vis-à-vis ou des élastiques.
- **Rotation externe** (pouce va vers l'extérieur) : cela porte l'avant bras en dehors en rapprochant l'omoplate du rachis. Principaux muscles sollicités : sous-épineux + petit rond (2 des 4 muscles de la coiffe des rotateurs)
- **Rotation interne** (pouce va vers l'intérieur) : cela porte l'avant bras derrière le tronc avec une projection du moignon de l'épaule en avant. Principaux muscles sollicités : sous-scapulaire + grand pectoral + grand dorsal + grand rond

LE COUDE



Mouvements possibles :

- **Flexion** (rapproche l'avant-bras du bras). Principaux muscles sollicités : biceps brachial, brachial antérieur et long supinateur.
Ex : Curl biceps
- **Extension** (éloigne l'avant-bras du bras). Principaux muscles sollicités : triceps brachial et anconé
- **Rotation interne (ou pronation)**: c'est le mouvement qui porte la paume de la main vers le bas. Principaux muscles sollicités : rond pronateur (p. 153) et carré pronateur (p. 153).
- **Rotation externe (ou supination)**: c'est le mouvement qui porte la paume de la main vers le haut. Principaux muscles sollicités : biceps brachial et long supinateur
- **Prono-supination**: elle oriente la main autour de l'axe longitudinal de l'avant-bras, lorsque le coude est fléchi

Nb : dans le langage courant, le coude désigne souvent l'olécrane, située sur le cubitus.

LA MAIN



Mouvements possibles au niveau du poignet :

- **Flexion** (rapproche la face palmaire de la face antérieure de l'avant-bras). Principaux muscles sollicités : les **épitrochléens** (muscles fléchisseurs du poignet)
- **Extension** (réalise le mouvement opposé en éloignant la face palmaire de la face antérieure de l'avant-bras). Principaux muscles sollicités : les **épicondyléens** (muscles extenseurs du poignet)
- **Inclinaison radiale (ou abduction)** : elle éloigne l'axe longitudinal de la main de l'axe du corps. Principaux muscles sollicités : les **épicondyléens**
- **Inclinaison cubitale (ou adduction)** : elle éloigne l'axe longitudinal de la main de l'axe du corps. Principaux muscles sollicités : les **épitrochléens**

LES MEMBRES INFÉRIEURS



Mouvements possibles :

- **Flexion** (jambe tendue) : elle porte la cuisse vers l'avant et vers le haut. Principaux muscles sollicités : psoas, iliaque et droit antérieur (quadriceps)
- **Extension** (jambe tendue) : elle porte la cuisse vers l'arrière. Principaux muscles sollicités : grand fessier
- **Abduction** : elle porte la cuisse en dehors. Principaux muscles sollicités : petit et moyen fessier, fascia lata
- **Adduction** : elle porte la cuisse en dedans. Principaux muscles sollicités : adducteurs
- **Rotation externe** : jambe tendue, elle oriente le pied vers l'extérieur. Principaux muscles sollicités : **pelvi-trochantériens** (p. 228), grand fessier

- **Rotation interne:** jambe tendue, elle oriente le pied vers l'extérieur. Principaux muscles sollicités : petit fessier

LE GENOU



Mouvements possibles :

- **Flexion:** elle rapproche la cuisse de la jambe (ex : talon fesse). Principaux muscles sollicités : ischios-jambiers + poplité (p. 251)
- **Extension:** elle éloigne la cuisse de la jambe. Principaux muscles sollicités : Quadriceps
- **Rotation** externe sur genou fléchi : elle oriente le pied en dehors. Principaux muscles sollicités : les ischios-jambiers (le long biceps, p. 242) et le tenseur du fascia-lata (p. 248)
- **Rotation** interne sur genou fléchi : elle oriente le pied en dedans. Principaux muscles sollicités : le couturier (p. 241)+ les ischios-jambiers (demi-tendineux (p. 242) et le droit interne (p. 246)
- **Rotation externe** sur genou fléchi : elle oriente le pied en dehors. Principaux muscles sollicités : petit fessier

LA CHEVILLE



Mouvements possibles :

- **Flexion** (on remonte les orteils vers le haut) : elle rapproche le dos du pied de la face antérieure de la jambe. Principaux muscles sollicités : **extenseurs des orteils** (p. 287) et **jambier antérieur** (p. 286)
- **Extension** (lorsque l'on se met sur la pointe des pieds). Principaux muscles sollicités : **triceps sural** (jumeaux et soléaire), **jambier postérieur** (p. 290), **péroniers latéraux** (p. 288) et **fléchisseurs des orteils** (p. 291)

Les mouvements de plusieurs segments

Lors du mouvement sportif, plusieurs articulations sont mises en jeu et donc plusieurs groupes musculaires. Ces actions sont dites synergiques. On y retrouve communément les mouvements que l'on appelle « fonctionnels ».