

L'APPAREIL LOCOMOTEUR

Il provient du mésoblaste qui donne le myotome (futur muscle), le sclérotome (futurs os, articulations et ligaments) et le dermatome (future peau).

1. Squelette axial = le crâne + la colonne vertébrale
2. Squelette thoracique = côtes et sternum
3. Squelette appendiculaire = les membres

A) Organogénèse de l'appareil locomoteur

I) Ostéogénèse

a) L'ossification

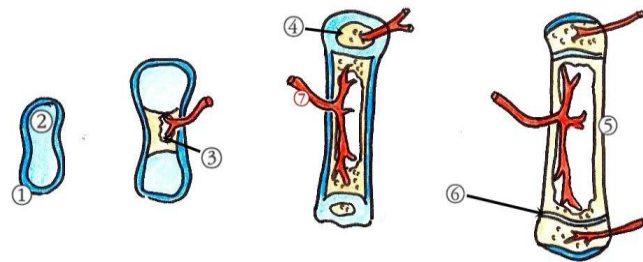
Il y en a 2 : **l'endochondrale et la membraneuse**.

- Pour **l'endochondrale** : un point d'ossification primaire apparaît au sein d'une matrice/maquette cartilagineuse formant la cavité médullaire (future diaphyse).

Puis des points d'ossifications secondaires apparaissent au niveau des épiphyses.

Entre le point primaire et les points secondaires se trouve le **cartilage épiphysaire = cartilage de croissance = point de conjugaison**

/!\ à ne PAS confondre avec le cartilage articulaire (non entouré de périchondre) recouvrant les épiphyses.



- Le **cartilage épiphysaire** est entre des lacs vasculaires épiphysaires et métaphysaires. La croissance s'arrête lors de leur mise en contact.

Clinique : **L'épiphysiodèse** = mise en contact des lacs vasculaire par un processus physiologique ou pathologique (ex : fracture) entraînant la soudure du cartilage de croissance. **L'épiphysiodèse totale** entraîne un arrêt de la croissance, et **l'épiphysiodèse partielle** (=clou) entraîne l'apparition d'une déviation de l'os.

Cas particulier : les os du crâne présentent une **ossification membraneuse** ne nécessitant pas de matrice cartilagineuse.

Une **membrane ostéoïde** se forme à partir d'un mésenchyme puis un point d'ossification apparaît et la croissance sera **centrifuge** (les **fontanelles** persistent à la naissance puis disparaîtront).

b) La croissance osseuse +++

Lois :

- La croissance de l'os se fait **inversement** à la prolifération des cellules à partir du cartilage épiphysaire.
- La croissance est **plus accrue** dans les zones de **faible pression**.
- L'alitement entraîne des **poussées de croissance** chez l'enfant
- La **répartition des contraintes** (tension/compression) est nécessaire pour un bon développement des os.
- Les **épiphyses fertiles** sont l'endroit où l'os grandit le plus = **2/3** de la croissance en longueur de l'os.
- **Les épiphyses fertiles sont près du genou et loin du coude +++**

Pathos : Dans ces **épiphyses fertiles**, la stagnation de certaines bactéries donne des **ostéomyélites** (peu présentes en France). Les **sarcomes** (cancers) se développent fréquemment près des **épiphyses fertiles**. Les **asymétries de contraintes** entraînent des **asymétries de croissance** => coxa valga, scoliose.

c) **L'âge osseux** (décrit par des **atlas**)

Valeur statistique, variable entre les individus et n'est valable que pour une population donnée (réalisé seulement pour les « riches » pays occidentaux). Les points d'ossification apparaissent à **des âges déterminés** donc on peut connaître l'âge osseux (différent de l'âge civile) par l'apparition de ces points d'ossifications => cet âge permet d'avoir **une prévision de la croissance de l'enfant**.

II) **Arthrogénèse**

- **Articulation synoviale** :

Au sein de la matrice cartilagineuse apparaît une **interzone** mésenchymateuse puis on observe un phénomène de **cavitation** donnant une **capsule articulaire**, les résidus de la capsule vont donner une **cavité articulaire** avec du **fibro-cartilage inter-articulaire** et une **membrane synoviale**++ Du **cartilage hyalin** délimite la capsule articulaire.

- **Articulation cartilagineuse** :

Il n'y a **PAS** de cavité ici, pas de cavitation ++ on a un **fibro-cartilage** entouré par un **cartilage hyalin**, passage de l'interzone à un fibro-cartilage d'union.

!/ PAS DE CAVITÉ POUR LES ARTICULATIONS CARTILAGINEUSES !!

III) **Myogénèse**

Les muscles proviennent du **myotome** qui, lui, vient du mésoblaste. A partir du myotome, on assiste à une double migration : - **Une postérieure** pour les muscles de l'**épimère**, à l'origine des muscles érecteurs de la colonne vertébrale -> innervation métamérique par les rameaux postérieurs d'un ou plusieurs nerfs spinaux.

- **Une antérieure** pour les muscles de l'**hypomère** qui donnent les muscles de la paroi antérolatérale du tronc et les muscles des membres -> innervés par le rameau antérieur d'un ou plusieurs nerfs spinaux.

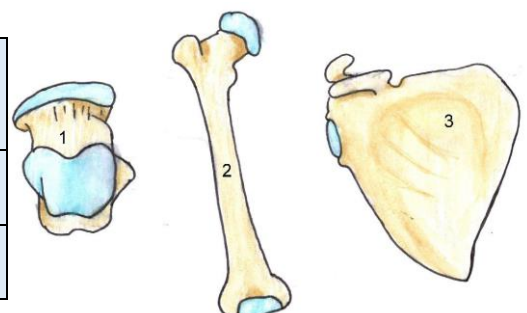
Les muscles des parois du tronc gardent une **innervation métamérique** (**en échelle**) tandis que les muscles des membres vont être innervés par **des plexus**.

Au niveau du segment cervico-céphalique, les muscles provenant des somites cervicaux et occipitaux sont innervés par des nerfs spinaux et l'autre partie dérivant des arcs branchiaux sont innervés par les nerfs crâniens branchiaux (V ; VII ; IX ; X ; XI).

B) **Mécanique et description de l'os**

I) **Classification des os**

Os longs (2)	La longueur prédomine sur les deux autres dimensions. Comporte 2 épiphyses (encroûtées de cartilage) et une diaphyse séparées par la métaphyse (évasée, intermédiaire)
Os plats (3)	Os à l'épaisseur extrêmement réduite, peuvent être pellucide. Ex : la scapula
Os courts (1)	Toutes les dimensions sont réduites et à peu près équivalentes. Ex : Os du carpe



II) La structure osseuse

a) Structure macroscopique

Les épiphyses (tapissées de cartilages articulaires) et la métaphyse sont constituées d'**os spongieux** qui contient de la **moelle rouge hématopoïétique**. La **cavité médullaire** de la diaphyse est remplie de **moelle jaune (= adipeuse)**.

L'os est entouré en tout point du **périoste (sauf au niveau du cartilage articulaire)** plus ou moins épais selon l'âge. Sous celui-ci, on retrouve un os compact : la **corticale osseuse** (que l'on retrouve même sous le cartilage articulaire sous forme d'une très fine lamelle).

b) Structure microscopique

Les os ont une structure lamellaire dont l'unité est l'**ostéon** (vieux, jeunes et matures). Elle est **torsadée** au niveau de l'**os compact** et en **feuille de papier** au niveau de l'**os spongieux**.

La femme ménopausée aura des os plus **fragiles** du fait de la non stimulation du renouvellement des ostéons qui est **sous influence hormonale** (=> ostéoporose, ostéopénie, fracture plus fréquente que chez l'homme).

« Les os de la femme meurent à 50 ans »

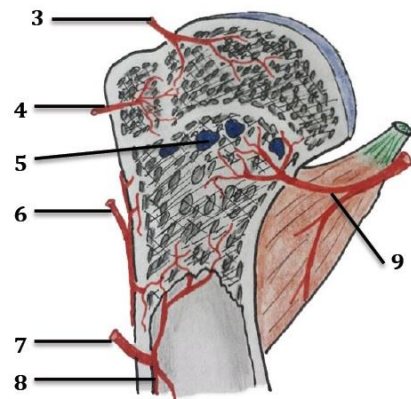
c) La substance interstitielle

Elle est constituée de **cristaux d'hydroxyapatite** qui baignent dans un soluté minéral et de fibres de collagène. Les cristaux possèdent la forme de **pastille Vichy**.



III) La vascularisation des os

Diaphyse (bien vascularisée)	Par : - Des artères nourricières (7) ou endostées (8): pénètrent dans l'os grâce à des foramens et des canaux nourriciers. C'est la vascularisation propre de l'os (2/3 de la vascularisation). - Des artères périostées périphériques (6): forme un réseau anastomotique à l'extérieur de l'os qu'il faut respecter lors d'une chirurgie (vascularise 1/3 de l'os notamment la corticale)
Métaphyse (Très bien vascularisé)	Grâce à des artères des muscles voisins (9) ou des artères propres de l'os (4)
Epiphyse (Très mal vascularisée)	Vascularisée par des artères de taille réduite (3) (=vascularisation précaire), responsable de nécroses épiphysaires fréquentes (notamment de la tête du fémur et de la tête de l'humérus).



Patho : La nécrose des épiphyses (fémorales/humérales) ont plusieurs causes :

- **Traumatiques** : Fracture de l'épiphyse (ou du col du fémur ++, de l'humérus) qui casse les vaisseaux => nécrose.
- **Micro-embolisation (ou micro-traumatique)** : La maladie des caissons (accident de décompression) ou scaphandrier. Des **bulles de gaz** se forment à l'intérieur des vaisseaux. Ces bulles se bloquent au niveau des capillaires, entraînant une nécrose de la tête du fémur.
- **D'origine métabolique** : **Concentration de lipides** importante dans le sang qui vont circuler sous forme de **microbulles** qui bouchent les vaisseaux. **L'éthylisme aigu** est la principale cause de nécrose épiphysaire en France.

IV) La biomécanique osseuse

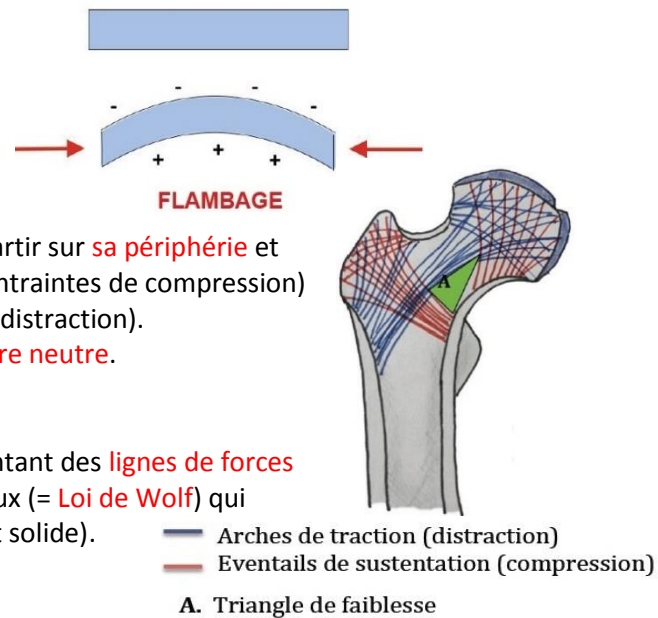
a) Contraintes osseuses

Au niveau de la **diaphyse**, les forces s'exerçant sur l'os vont se répartir sur **sa périphérie** et non au centre. Les **pressions positives** donneront des **concavités** (contraintes de compression) et les **pressions négatives** donneront des **convexités** (contraintes de distraction).

Le **centre de la diaphyse** (pression nul) est creux et on retrouve la **fibre neutre**.

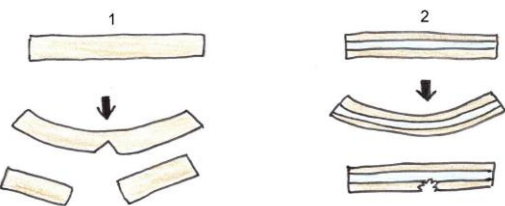
Ex : le fémur a une double courbure (concavité) médiale et dorsale.

Les contraintes cheminent entre l'épiphyse et la diaphyse en empruntant des **lignes de forces** (imaginaires) qui forment des **travées spongieuses** dans le tissu osseux (= **Loi de Wolf**) qui s'organisent en voute gothique (= Arc brisé, parfois inversé, légère et solide).



b) Propriétés mécaniques de l'os

L'os est un matériel composite et élastique avec un module d'Young bas (échelle caractérisant l'élasticité).



Il existe 2 types de rupture :

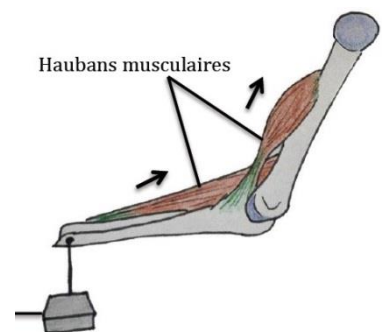
- **Fractures fragiles** (1) : lorsque ça casse **d'un coup** (la plupart des fractures que l'on rencontre)
- **Fractures ductiles ou incomplètes** (2) : l'os ne se casse **pas totalement**, fracture en « **bois vert** », se rencontre souvent chez l'enfant.

Les épiphyses et les os courts ont la résistance **d'un bidon d'huile**. Ils doivent leur résistance au **tissu spongieux** emmagasiné dans une corticale.

L'os est **très résistant**. Sa résistance est supérieure **IN VIVO** qu'**IN VITRO** grâce à la présence des muscles.

2 théories :

- **Théorie des haubans de Pauwels** : des contraintes sont absorbées par les muscles tel des haubans qui tiennent une grue.
- **Poutre composite de Rabischong et Avril** : Compare le système ostéo-musculaire à une poutre composite : les contraintes sont réparties entre les os et les muscles.



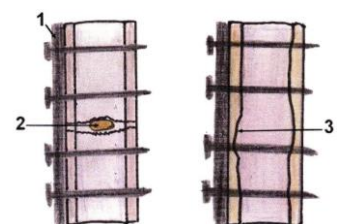
V) Fracture et réparation osseuse

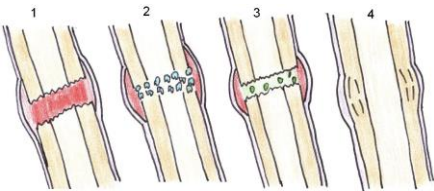
a) Différents types de fractures osseuses

Fracture par surcharge	Contrainte supra-physiologique , traumatisme violent qui entraîne une rupture fragile
Fracture de fatigue	Contrainte infra-physiologique répétée, le renouvellement osseux n'a pas le temps de se faire => tassement osseux chez le sujet âgé (vertèbres) ou fracture en « motte de beurre » chez le sujet jeune. Généralement non visible à la radio.
Fracture pathologique	L'os est pathologique et rompt plus facilement.

b) Réparation osseuse

- **Réparation de première intention** : **ostéosynthèse chirurgicale** (1) (avec ponction de l'hématome et donc non formation de cal osseux ; apparition **directe d'un tissu cartilagineux puis ossification 1^e et 2^{ndr}**) ; pas plus solide que la réparation naturelle. Le matériel chirurgical va **absorber des contraintes**, pouvant entraîner un **amincissement** de la corticale au niveau de la plaque (3).





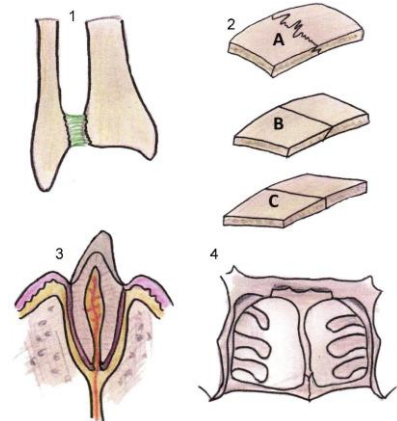
- **Réparation de deuxième intention** = spontanée : Non ponction de l'hématome => apparition du **cal fibrocartilagineux**, puis ossification 1^e et 2nd. Le cal osseux 2nd donne une **hypertrophie chéloïde osseuse**.

C) Les articulations

I) Classification des articulations

Bonne **vascularisation** des articulations par des artères propres et innervation inconsciente ou consciente proprioceptive (= position de l'articulation) + innervation sensitive.

a) Les articulations fibreuses



Articulations **SANS** surface cartilagineuse, ni de membrane synoviale ; **AVEC** des ligaments entre eux 2 os. Il peut y avoir une **cavité articulaire**.

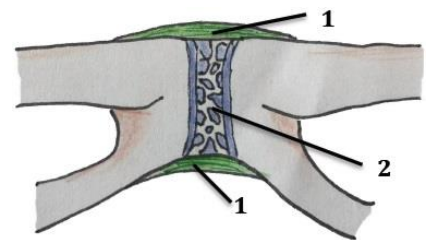
• 4 types :

- **Les syndesmoses** (1) (**AVEC** cavité articulaire ; **SANS** cartilage ni membrane synoviale). Les 2 os sont reliés par un ligament. Ex : articulation tibio-fibulaire inf
- **Les sutures** (2) : au niveau de la face et du crâne (planes ; squameuses -> plan oblique ; dentelées -> forte sinuosité en dent de scie, **STRICTEMENT** immobile)
- **Synchondrose** (4) : rail plein dans un rail creux. Ex : articulation sphéno-vomérienne
- **Gomphose** (3) : Articulation des dents dans les alvéoles -> pas vraiment une articulation car les dents ne sont pas des os.

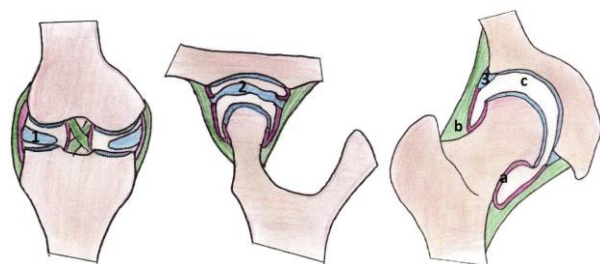
b) Les articulations cartilagineuses

Articulation **AVEC** des **fibrocartilages d'union** (2), **du cartilage articulaire (= hyalin)**, **une capsule articulaire** mais **SANS cavité articulaire**

Ex : Symphyse pubienne, articulation disco-vertébrale (DIV avec au centre le nucléus pulposus et en périphérie l'annulus fibrosus) (**Légende** : (1) **ligament**)



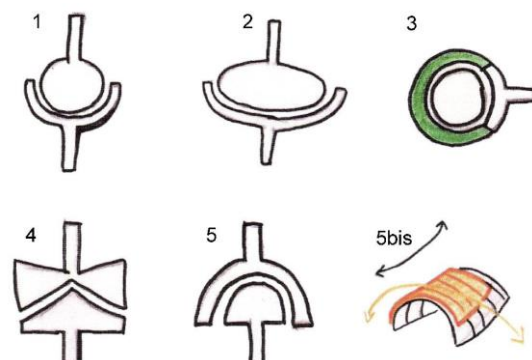
c) Les articulations synoviales (grande mobilité et soumises aux pathologies des mb synoviales)



Articulation **AVEC** une **cavité articulaire virtuelle** (c) ; une **capsule articulaire** tapissée, sur sa face profonde, par une **membrane synoviale** (a) sécrétant le liquide synovial (riche en ah) ; des **fibrocartilages d'interpositions** (ménisque 1, bourrelet 3, disques 2) permettant l'amélioration de la congruence articulaire, la stabilité et de répartir les pressions ; **des replis synoviaux** (plicae synovialis) ; **des ligaments** : soit de renforcement capsulaire soit à distance de la capsule.

Il existe **6 articulations cartilagineuses** différentes :

- (1) - **Sphéroïde (énarthrose)** : sphère creuse dans une sphère pleine : 3 axes de mobilité, la plus mobile.
- (2) - **Ellipsoïde (condylienne)** : Fragment d'ellipse à 2 axes de mobilité
- (3) - **Cylindroïde (trochoïde)** : Cylindre plein dans un cylindre creux : 1 axe de mobilité
- (4) - **Trochlée (poulie)** : rail plein dans un rail creux : 1 axe de mobilité
- (5) - **Articulation en selle** : tore creux sur un tore plein : 2 axes de mobilité.



- **Articulation plane ou arthrodie** : Deux surfaces planes l'une à l'autre avec une infinité d'axe de mobilité mais avec une amplitude de mouvement extrêmement limité

d) La sysarcose

Articulation **extrêmement mobile** qui permet des mouvements **pluri-centimétriques**. Elle est formée par la création d'un **espace de glissement** entre deux os tapissés par **des muscles** et rempli de **graisse** = articulation **scapulo-thoracique**.

II) Biomécanique du cartilage hyalin = articulaire

Le cartilage hyalin a un aspect blanc, brillant, nacré et comprend :

- **Zone superficielle** : Structure en **tôle ondulée** avec pore de nutrition
- **Zone profonde ou moyenne** : Structure en **nid d'abeille**, avec son gel de muco-polysaccharide de chondroïtine sulfate => élasticité du cartilage
- **Zone basale**

Le cartilage (non vascularisé) est nourri par imbibition du liquide synovial par pumping synovial.

Patho : Le premier élément d'usure du cartilage est l'usure par **fibrillation de la zone superficielle** qui disparaît, mettant à nue la structure en nid d'abeille, cela donne au cartilage un **aspect en chair de crabe**.

III) La lubrification synoviale

Elle est permise par l'acide hyaluronique (AH). Il existe différents types de lubrification :

- **Lubrification laminaire / hydrodynamique** : Vitesse élevée, pression faible. Les molécules d'AH sont parallèles entre elles et à l'ensemble des surfaces articulaires.
- **Lubrification limitée** : pression plus forte -> les molécules adhèrent sur les parois cartilagineuses.
- **Gélification** : pression considérable -> Des gouttelettes microscopiques d'AH agissent comme un roulement à bille sur la tôle ondulée des 2 cartilages de l'articulation.

La marche : amortissement grâce au talon, prise en charge du poids par la plante du pied et propulsion sur l'avant-pied.

D) Les muscles

3 types histologiques : strié squelettique – strié cardiaque – lisse

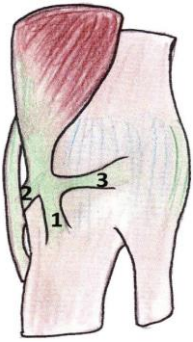
I) Classification descriptive des muscles

a) Classification descriptive selon la forme

- **Orbiculaires** : forme d'un anneau
- **Courts** : toutes les dimensions sont réduites (ex : masséter)
- **Plats** : souvent muscles des parois du tronc ; épaisseurs réduites
- **Longs** : la longueur est la dimension la plus importante

b) Classification descriptive selon leur(s) ventre(s)

- **Monogastrique** : un ventre
- **Multi-gastrique ou Pluri-gastrique** : En série, avec un tendon intermédiaire ; ou parallèle, avec un tronc commun.



c) Classification descriptive selon leur terminaison

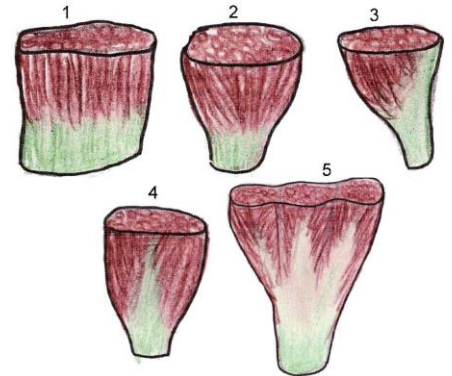
Un muscle possède une insertion proximale et distale.

- Sur la **peau** : facio, responsable de la mimique (pour les grimaces)
- Sur **les aponévroses** (lames tendineuses)
- Sur **des tendons** (le plus souvent) direct (1) (suit la direction du muscle), réfléchi (2) (dévié par la trajectoire du muscle) ou récurrent (3) (repart en sens contraire)

d) Classification descriptive selon leur insertion aux tendons

- **Bout à bout** (1) : continuité des fibres musculaires et du tendon
- **Fusiforme** (2) : formation d'un fuseau avant de s'insérer au tendon
- **Unipenné** (3) : insertion d'un seul côté du tendon (demi-plume)
- **Bipenné** (4) : (plume complète)
- **Multipenné** (5) : (plusieurs plumes d'oiseaux)

Les tendons s'insèrent dans l'os comme un tronc d'arbre dans la terre. Les fibres traversent le microcartilage d'interposition et s'étalent dans l'os.



Patho : **TENDINITE** : inflammation du tendon ; peut être causée par un muscle trop puissant pour le tendon.

ANTHÉSITE : inflammation de l'anthèse (endroit d'insertion du tendon)

- Souvent lors d'un arrachement tendineux on a un arrachement osseux concomitant.

II) Classification fonctionnelle des muscles

3 catégories :

- **Mono- ou Poly-articulaire**
- **Agoniste** : Muscle responsable du mouvement - flexion du coude : biceps ; brachial antérieur
- **Antagoniste** : Muscle responsable de l'inhibition du mouvement

Les muscles agoniste et antagoniste **interviennent simultanément** lors d'un mouvement afin de réguler la précision du mouvement avec une prédominance pour l'un des deux muscles selon le mouvement.

III) Innervation et vascularisation musculaire

Elle se fait au niveau de la **plaque motrice**.

2 types d'innervations motrices : **Tronculaire** (LE NERF qui apporte l'influx nerveux au muscle. Ex : nerf axillaire) et **RAdiculaire** (LE(S) **RACINE(S)** spinale(s) qui vont innerver un muscle. Ex : C4/C5/C6)

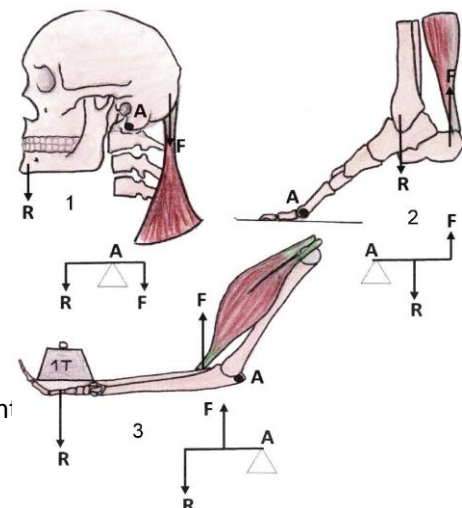
Le deltoïde est innervé par le nerf axillaire, les racines sont C4/C5/C6 et la principale est C5. Un muscle peut être innervé par **plusieurs nerfs**.

Pour la vascularisation, quand on est dans un état **d'activité musculaire** : -> Vasoconstriction artérielle (débit augmente) -> microcirculation des capillaires musculaire se dilate -> apport sanguin nécessaire (O₂ augmentée)
S'il fait **froid** : -> Vasoconstriction des extrémités pour renvoyer l'ensemble du compartiment vasculaire dans les organes vitaux.

IV) Anatomie fonctionnelle

3 types de levier ostéo-musculaire :

- Levier **inter-appui** : Force et Résistance opposées par un appui central (tête)
- Levier **inter-résistant** : Appui et Force opposés par une résistance centrale (pied)
- Levier **inter-force** : Résistance et Appui opposés par une force musculaire centrale (Bras)



V) Anatomie musculaire et testing musculaire

Lors d'une contraction musculaire, il y a raccourcissement de la longueur du muscle mais **pas de changement de volume** (le volume de la loge musculaire est invariable).

2 types de contraction : - Travail **STATIQUE** = contraction isométrique, sans mouvement
- Travail **DYNAMIQUE** = contraction isotonique, avec mouvement

Le **TESTING MUSCULAIRE** est une classification de la contraction musculaire en **6 niveaux** :

NIVEAU 0	Pas de contraction
NIVEAU 1	Contraction perceptible sans mouvement -> On palpe le muscle pour sentir le mouvement
NIVEAU 2	Mouvement en apesanteur -> annihilation de la force d'apesanteur par certaines articulations
NIVEAU 3	Mouvement contre pesanteur -> mouvement du membre soumis à un poids
NIVEAU 4	Mouvement contre résistance, infra-physiologique
NIVEAU 5	Force normale

Le muscle est élastique et présente un tonus musculaire permanent ; on définit plusieurs longueurs :

- Longueur **d'équilibre** = dénervé dés-inséré
- Longueur **de repos** = dans l'organisme
- Longueur **de contraction maximale**

IMPORTANT :

- 1) Le raccourcissement d'un muscle correspond généralement à la **moitié de sa longueur**.
- 2) La **force** musculaire est **proportionnelle au volume** musculaire.
- 3) Le muscle se contracte d'autant plus qu'il est **étiré**.
- 4) Le muscle **dénervé** est **plus long** qu'un muscle **innervé**

VI) Annexes des muscles

a) Fascias et loges

Les fascias et des septums limitent les **loges musculaires**. Ceux-ci permettent de distinguer les différents plans musculaires et sont **très peu extensibles**.

Patho : **Syndrome des loges** : ischémie musculaire sur **artère battante** -> hyperpression dans la loge causée par le muscle trop volumique entraînant une **compression des capillaires**.

TRAITEMENT : **Fasciotomie** ou **aponévrotomie** pour diminuer la pression et entraîner la re-micro-vascularisation.

b) Bourses et gaines séreuses (Objectif : faciliter le mouvement)

Les bourses séreuses ou synoviales : cavités synoviales interposées **entre un tendon et un muscle** ou **entre un os et une structure anatomique** comprenant une membrane synoviale qui sécrète de la synovie.

Patho : **Hygroma** du coude ou genou, inflammation de la bourse séreuse.

Les gaines séreuses synoviales : ce sont des doubles membranes synoviales situées **autour des tendons** et se terminent par des **replis préputiaux**. Elles permettent les mouvements tendineux dans leurs gaines fibreuses, formant des **coulisses de réflexions** autour des tendons.

Patho : Les **maladies générales de la synovie** touche bourses et gaines fibreuses.