

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

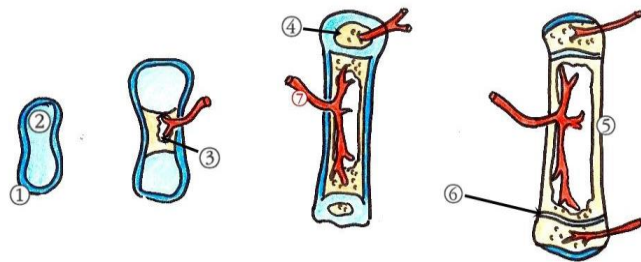
Il y en a 2 : **l'endochondrale et la membraneuse**.

- 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 aux extrémités de la maquette (= aux 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**.

Les lésions cartilagineuses ne peuvent pas cicatriser au cours de la vie



- 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.

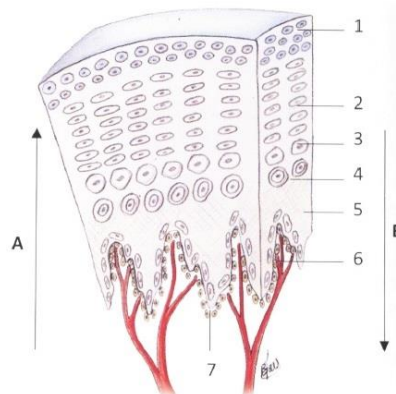
Cas particulier : les os du crâne présentent une **ossification membraneuse** (ou endochondrale) ne nécessitant pas de matrice cartilagineuse.

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

On trouve différentes zones dans le **cartilage de croissance** :

- Cellules **germinatives** (1)
- Cellules **sériées** (2)
- Cellules **hypertrophiques** (3)
- Cellules **dégénératives** (4)

- A. sens de la croissance
- B. sens de la division cellulaire
- 5. cartilage calcifié
- 6. bourgeon vasculaire
- 7. ostéoblastes



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** (= loi de Delpech)
- 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**. Préférentiellement dans les lacs métaphysaires.

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. 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 :

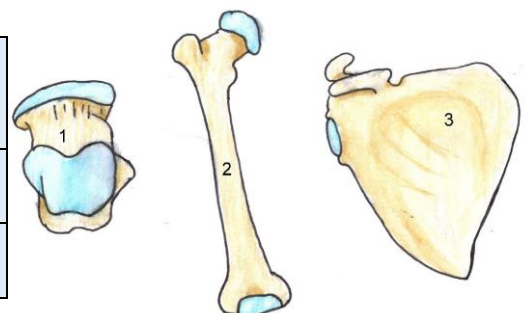
Il n'y a **PAS** de cavité ici, pas de cavitation ++ on a un **fibro-cartilage** entouré par un **cartilage hyalin**, passage de l'interzone à un fibro-cartilage.

!/ \ PAS DE CAVITÉ POUR LES ARTICULATIONS CARTILAGINEUSES !!

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). Une membrane **endostée** limite la cavité médullaire.

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 »

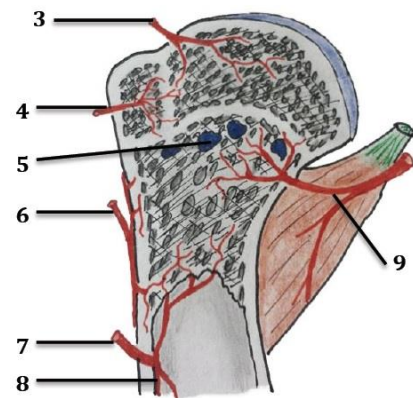
c) La substance interstitielle

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 longs

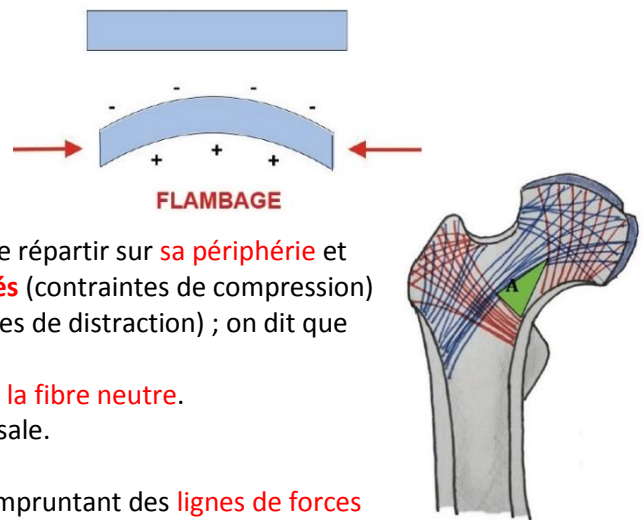
Diaphyse (bien vascularisée)	Par : - Des artères nourricières (7) / endostées (8): pénètrent dans l'os grâce à des foramens et des canaux nourriciers. C'est la vascularisation propre de l'os (2/3 de la vascularisation). - Des artères périostées périphériques (6): forme un réseau anastomotique à l'extérieur de l'os qu'il faut respecter lors d'une chirurgie (vascularise 1/3 de l'os notamment la corticale)
Métaphyse (Très bien vascularisée)	Grâce à des artères des muscles voisins (9) ou des artères propres de l'os (artères métaphysaires) (4). La vascularisation métaphysaire n'est presque jamais compromise.
Epiphyse (Très mal vascularisée avec très peu d'artères épiphysaires)	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 : Les artères épiphysaires peuvent se boucher ce qui peut provoquer une ostéonécrose. Le tabac, le cholestérol ou l'alcool favorisent l'obstruction des artères et donc une possible ostéonécrose.
On peut avoir des ostéonécroses suite à une fracture, ou encore, suite à la prise excessive de cortisone.

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) ; on dit que l'os flambe.

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

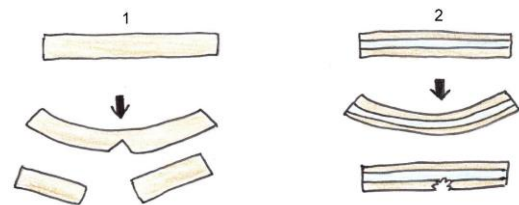
Ex : le fémur a une double courbure (concavité) médiale et dorsale.

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).

— Arches de traction (distraction)
— Eventails de sustentation (compression)
A. Triangle de faiblesse

b) Propriétés mécaniques de l'os

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



Il existe 2 types de rupture :

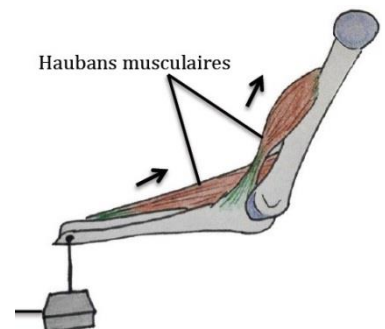
- **Fractures fragiles** (1) : lorsque ça casse **d'un coup** (la plupart des fractures que l'on rencontre)
- **Fractures ductiles ou incomplètes** (2) : l'os ne se casse **pas totalement**, fracture en « **bois vert** », se rencontre souvent chez l'enfant (peut se retrouver chez le veillard aussi)

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.



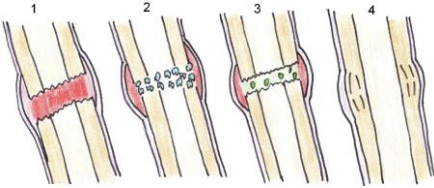
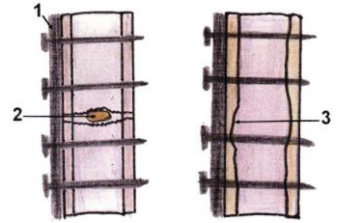
V) Fracture et réparation osseuse

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.
Fracture pathologique	L'os est pathologique et rompt plus facilement sous des contraintes infra-physiologiques . (ex : infection, tumeur...)

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}** comme une soudure autogène des os). Le matériel chirurgical va **absorber des contraintes**, pouvant entraîner un **amincissement de la corticale au niveau de la plaque** (3). (En italique -> non-dit cette année)



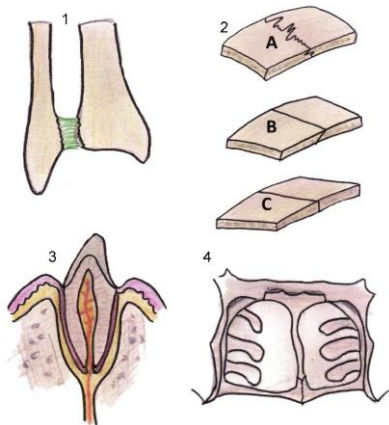
- **Réparation de deuxième intention** = **spontanée** : Hématome intra fracturale => apparition du **cal fibrocartilagineux** au sein de l'hématome, **puis ossification 1^{ère}** (= **cal osseux primaire** qui n'a pas de structure fibrillo-lamellaire) et ensuite **2^{ndr}** (qui a une structure fibrillo-lamellaire).

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



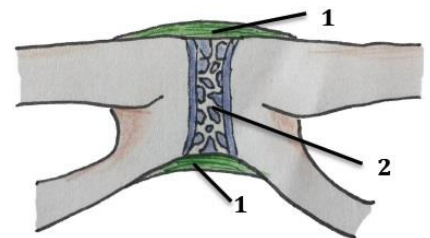
Articulations **SANS** surface cartilagineuse, ni de membrane synoviale ; **AVEC** des ligaments entre eux 2 os. Il peut y avoir une **cavité articulaire**.

• 4 types :

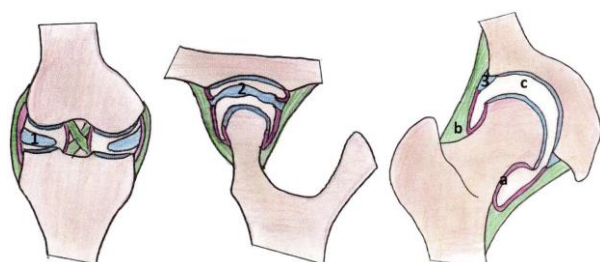
- **Les syndesmose** (1) (**AVEC** cavité articulaire ; **SANS** cartilage ni membrane synoviale). Les 2 os sont reliés par un ligament. Ex : **articulation tibio-fibulaire inf**
- **Les sutures** (2) : au niveau de la face et du crâne, **SANS** cavité articulaire (planes ; squameuses -> plan oblique ; dentelées -> forte sinuosité en dent de scie, **STRICTEMENT** immobile)
- **Schyndlèse** (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'interposition** (2), **du cartilage articulaire** (= **hyalin**), **une capsule articulaire**, **des ligaments** (1) mais **SANS cavité articulaire réelle**
Ex : Symphyse pubienne, articulation disco-vertébrale (DIV avec au centre le **nucléus pulposus** et en périphérie l'**annulus fibrosus**)



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 synoviales** différentes :

(1) - **Sphéroïde (énarthrose)** : sphère creuse dans une sphère pleine : 3 axes de mobilité, la plus mobile.

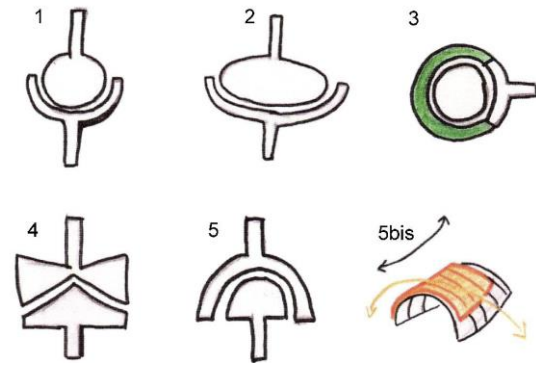
(2) - **Ellipsoïde (condylienne)** : Fragment d'ellipse à 2 axes de mobilité

(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 arthroïde** : 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**.

e) Vascularisation et innervation des articulations synoviales

Ces articulations sont vascularisées et innervées par des structures propres.

Elles vont recevoir une innervation **proprioceptive** de **2 types** :

- **Consciente** (indique la position dans laquelle se trouve l'articulation)
- **Inconsciente** (arrive au cervelet du côté homolatéral)

II) Biomécanique du cartilage hyalin = articulaire

Le cartilage hyalin comprend :

- **Zone superficielle** : Structure en **tôle ondulée** avec pore de nutrition

- **Zone profonde ou moyenne** : Structure en **nid d'abeille**, avec son gel => élasticité du cartilage

- **Zone basale**

Le cartilage (non vascularisé) est nourri par imbibition du liquide synovial par pumping synovial. (en italique non-dit cette année)

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** : Vitesse élevée, 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. (non-dit cette année)

D) Les muscles

3 types histologiques : strié squelettique – strié cardiaque – lisse

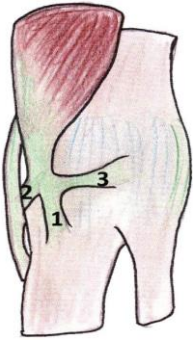
I) Classification descriptive des muscles

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.
Ex : muscle bi-gastrique -> biceps



c) Classification descriptive selon leur terminaison

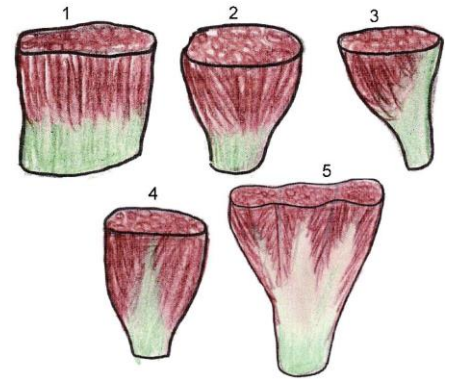
Un muscle possède une insertion proximale et distale.

- 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. (non-dit)

ENTHÉSITE : défaut d'insertion du tendon dans l'os

- 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)

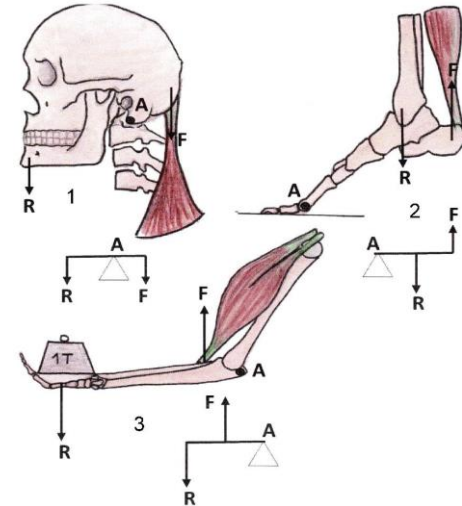
Le deltoïde est innervé par le nerf axillaire, les racines sont C4/C5/C6 et la principale est C5. Une lésion de C4 provoquera donc une paralysie moins grave qu'une lésion de C5. Un muscle peut être innervé par **plusieurs nerfs**.

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. (non-dit cette année mais quand même cool à savoir -> culture G)

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** : (ici le vrai tableau du prof)

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**
- 5) La précision du mouvement est proportionnelle au nombre de fibres musculaires qui innervent ce muscle

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 volumineux entraînant une **compression des capillaires** lorsque la pression dans la loge dépasse la pression de perfusion capillaire qui est égal en général à la moitié de la minima alors que les artères sont battantes. Peut entraîner une nécrose du muscle et potentiellement la mort.

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. (non-dit cette année)

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.