



# Anatomie de l'appareil locomoteur

Et voici la fiche à jour (niveau texte, il y a tout). Désolé, je n'ai pas pu y mettre tous les schémas, mais je vais la compléter bientôt.

## INTRODUCTION

L'appareil locomoteur comprend l'**ostéologie** (étude des os), l'**arthrologie** (étude des articulations), la **myologie** (étude des muscles). Les **fonctions** de l'appareil locomoteur sont la **locomotion**, la **préhension**, le **support du corps**, la **mastication** et la **mécanique respiratoire**. Nous allons voir l'organogénèse, la croissance, l'anatomie générale des os, l'anatomie générale des articulations (avec la classification), et l'anatomie générale des muscles.

L'appareil locomoteur provient du **mésoblaste**. Dans le mésoblaste, il y a le **dermatome** (qui va donner le derme), le **myotome** (qui va donner les muscles), et le **sclérotome** (qui donner les os, articulations et les ligaments).

## OSTEOLOGIE

### Anatomie générale des os

Les **os** sont des **poutres de soutien** de l'organisme, essentiellement formées de **tissu osseux**. Il y en a plusieurs types et plusieurs façons de les classer.

L'ensemble des os forme le **squelette**. Il n'y a pas de nombre précis d'os car parfois il existe des os surnuméraires ou déficients. Au sein du squelette, on distingue :

- le **squelette axial** : colonne vertébrale, crâne et os hyoïde
- le **squelette thoracique** : côtes et sternum
- le **squelette appendiculaire** : squelette des membres et des ceintures. Les squelettes appendiculaires sont :
  - le **squelette du membre inférieur = membre pelvien**. La ceinture pelvienne est formée des deux os coxaux.
  - le **squelette du membre supérieur = membre thoracique**. La ceinture du membre supérieur est constituée de la clavicule et de la scapula.

CLASSIFICATION DES OS	
<b>Os longs</b>	<p>La caractéristique des os longs est d'avoir une dimension (la longueur) beaucoup plus importante que les deux autres (ex : fémur).</p> <p>On définit plusieurs zones :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ les <b>épiphyes</b>, aux extrémités, encroutées de cartilage articulaire</li> <li>○ la <b>diaphyse</b> dans la partie centrale (elle a une forme d'un (double) tromblon)</li> <li>○ la métaphyse (la zone de jonction entre les deux)</li> </ul> <p><b>Attention</b> : il y a des os longs qui sont de petite taille (ex : métatarsiens, métacarpiens).</p>

<b>Os courts</b>	Toutes les dimensions sont de petite taille et relativement équivalentes (ex : talus, os du carpe, vertèbres). On ne distingue pas de diaphyse, métaphyse, ni épiphyse.
<b>Os plats</b>	L'épaisseur est de très faible dimension (ex : scapula d'épaisseur millimétrique dans sa partie centrale, os coxal).

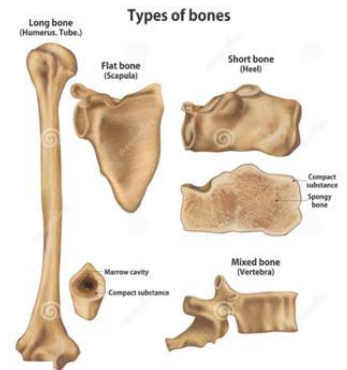
Au niveau des os, on trouve des reliefs et des cavités osseuses. Certains éléments sont de très grande taille ou très effilés. On en décrit différents types en prenant l'exemple de trois os :

Os coxal : on décrit des **incisures**, des **échancrures**, des **lignes**, des **épines**,

des **gouttières**, des **éminences**, des **foramens**, des **cavités** (articulaires, ...).

Os temporal : on décrit des **méats** (foramen d'un conduit naturel), des **processus** (épines très effilées).

Sphénoïde (coupé dans le plan sagittal) : on décrit des cavités aériennes, les **sinus**.



## Organogénèse et croissance osseuse

### A. L'ossification enchondrale

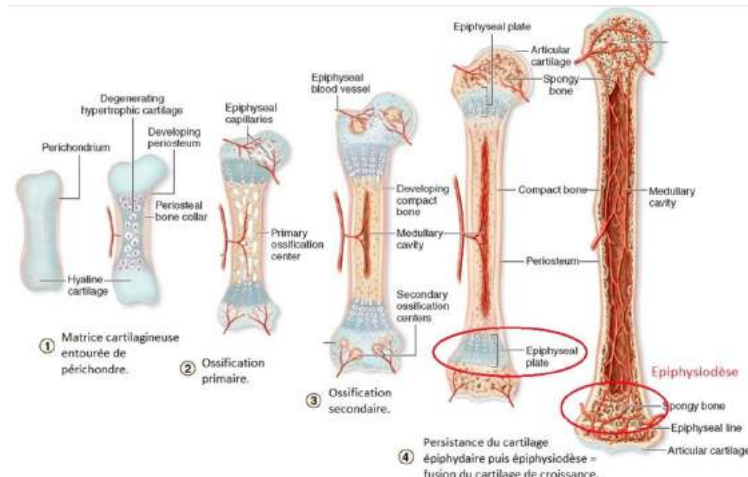
L'**ossification enchondrale** est essentiellement l'ossification des os longs, mais aussi des os courts et plats de l'ensemble de l'organisme, sauf pour la voûte du crâne.

On va se concentrer sur l'ossification enchondrale d'un os long.

- Tout apparaît au sein d'une **maquette cartilagineuse**. Elle est formée de cartilage à l'intérieur et elle est entourée de **périchondre** (futur périoste).

Au sein de cette maquette vont apparaître des **points d'ossification** à un âge déterminé.

- Le **point d'ossification primaire** apparaît au centre de la maquette et reçoit des vaisseaux.
- Des **points d'ossification secondaire** vont apparaître aux extrémités, recevant aussi des vaisseaux (toujours à un âge déterminé). Il peut y avoir des points d'ossification tertiaire, quaternaire, etc...
- Le point d'ossification primaire va grandir et se creuser d'une cavité : la future **cavité médullaire** (= cavité de la diaphyse de l'os).
- À un stade plus évolué, le **cartilage articulaire** est apparu aux extrémités et les points d'ossification secondaire proximaux et distaux ont grandi.
- Puis, à un stade ultérieur, on observe une croissance complète des points d'ossification secondaire supérieur et inférieur. Entre les deux, on observe la **cavité médullaire**. À ce stade, le périchondre prend le nom de **périoste**. Le périoste entoure complètement les os sauf au niveau du cartilage articulaire.



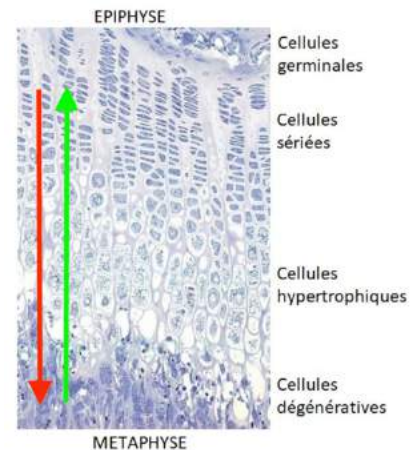
Il va rester de ce cartilage primitif (la maquette initiale), aux extrémités des os, le **cartilage épiphysaire** qui sépare l'épiphyse de la diaphyse. Ce **cartilage épiphysaire = cartilage de croissance = cartilage de conjugaison** apparaît au niveau de la **métaphyse**, partie évasée jouxtant l'épiphyse.

**Attention :** ne pas confondre cartilage épiphysaire avec cartilage articulaire d'encroûtement des épiphyses.

### Formation du point d'ossification (secondaire)

On étudie le point d'ossification secondaire par une coupe de l'extrémité de l'os. On voit le **cartilage articulaire** (provenant du périchondre). À partir de celui-ci, on a des **cellules germinatives** de base. Elles se divisent pour former les **cellules sériées** organisées en pile d'assiettes. Ces dernières se transforment en **cellules hypertrophiques** (plus grandes). Enfin, ces cellules sont pénétrées par des vaisseaux et vont former la **couche dégénérative** avec apparition des cellules osseuses appelées **ostéoblastes**.

La **division** cellulaire se fait de manière **centripète**, la **croissance** de manière **centrifuge**.



### La croissance des épiphyses (des os longs)

On étudie ce qui se passe au niveau du **cartilage épiphysaire**. On voit un point d'ossification secondaire, calcifié, sous le cartilage articulaire. On met en place le cartilage épiphysaire (= de croissance). C'est le même schéma directeur qu'avant : il y a les cellules germinatives, les cellules sériées, les cellules hypertrophiques, et les cellules dégénératives.

Il y a des **lacs vasculaires épiphysaires** et des **lacs vasculaires métaphysaires**, plus volumineux que les épiphysaires. Les lacs veineux sont toujours plus volumineux que ceux artériels. Des vaisseaux pénétrant dans les cellules dégénératives favorisent la division des ostéoblastes qui forment l'os. Encore une fois, la division cellulaire est centripète, la croissance est centrifuge par rapport au point d'ossification primaire.

Quand les lacs épiphysaire et métaphysaires viennent en contact, il n'y a plus de division cellulaire : il y a arrêt de la croissance.

#### **Fracture du cartilage épiphysaire :**

Au niveau des couches de cellules hypertrophiques et dégénératives, il existe une **zone de faiblesse** du cartilage, où surviennent les fractures du cartilage de croissance. Ces fractures peuvent être très **bénignes**, comme **dramatiques**.

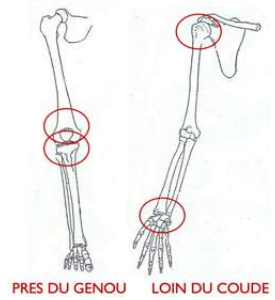
Dans certains cas, ces fractures peuvent mettre en contact les deux circulations épiphysaires et métaphysaires et entraîner **l'arrêt de la croissance osseuse** avec la réalisation d'inégalités de longueur ou de déviation osseuse.

En périphérie, il existe une **virole osseuse métaphysaire**. Elle forme l'os métaphysaire provenant du périoste et entraîne la croissance en épaisseur de la métaphyse.

Chez les enfants, les **épiphyses fertiles** sont responsables des 2/3 de la croissance en longueur des os. Le tiers restant provient de l'épiphyse opposée. Ces épiphyses fertiles se trouvent **près du genou** et **loin du coude**.

*Ainsi, l'épiphyse fertile du tibia sera l'épiphyse supérieure du tibia, et l'épiphyse fertile de l'humérus sera aussi son épiphyse supérieure.*

Au niveau des lacs vasculaires, il y a stagnation du sang, avec des risques de pullulation microbienne.



**Ostéomyélites** : ce sont des infections osseuses qui surviennent en général au niveau des lacs métaphysaires, qui sont les plus volumineux et ceux avec le risque le plus important de pullulation microbienne.

**Cancers de type ostéosarcomes** : ils surviennent essentiellement au niveau des épiphyses fertiles. Ainsi, celles qui ont la plus grande croissance sont celles qui ont la plus grande pathologie.

**Épiphyso-dèse** : fusion du cartilage de croissance entraînant un arrêt total ou partiel de la croissance. En cas d'arrêt partiel, il apparaît une déviation angulaire de l'os.

### Croissance osseuse

Les **hormones** (comme la somato-hormone, les hormones sexuelles, ...) sont responsables de la poussée de croissance. Il y a deux poussées de croissance : celle de la 1<sup>ère</sup> année et celle de la puberté.

**Loi de Delpech** : cette loi dit que la croissance osseuse est accrue dans les zones de faible pression.

Pour une croissance favorable et harmonieuse, il faut qu'il y ait une répartition harmonieuse des pressions sur l'os. Ceci est nécessaire aussi au remodelage osseux.



La **coxa valga** dans la **poliomyélite** est due au fait que la contrainte sur la hanche malade diminue et le col du fémur va se verticaliser (*alors qu'il est normalement dirigé vers le haut l'avant, et le dedans*).

On peut citer aussi les **scolioses neurogènes** : lorsqu'il y a des asymétries de contraction musculaire au niveau de la colonne vertébrale, cette dernière ne sera pas rectiligne dans le plan frontal, mais il va y avoir des courbures.

On peut déterminer un **âge osseux** pour une population donnée grâce à un atlas où il y a les valeurs moyennes des dates d'apparition des différents points d'ossifications des os. Sur une radiographie, on peut les déceler et déterminer l'âge osseux de l'enfant, ce qui permet d'établir une prévision de croissance (très utilisée par les pédiatres et les chirurgiens infantiles lorsqu'ils traitent des raccourcissements osseux ou des déviations osseuses).

### **B. Ossification de membrane (développement du segment céphalique)**

Le cou et du crâne proviennent d'une part des **arcs branchiaux** (1, 2, 3, 4, 6) et des **somites occipitales** et **cervicales**. Ceci rend l'ossification plus complexe à ce niveau.

En simplifiant, on peut dire que la base du crâne va avoir une ossification enchondrale, alors que la **voûte du crâne** va avoir une **ossification de membrane**.

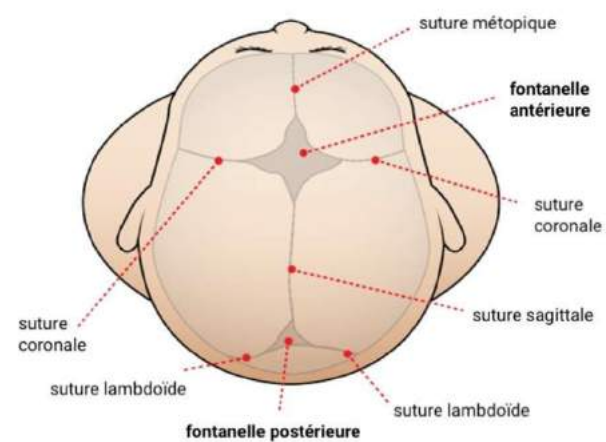
On va se concentrer sur l'ossification membraneuse de la voûte du crâne :

- Au sein du mésenchyme, une **membrane ostéoïde** va apparaître, mimant la forme ultérieure de l'os. C'est son apparition qui sera responsable de la formation des os du crâne.
- Au sein de cette membrane ostéoïde, un **point d'ossification** va apparaître. Ce point va croître de façon **centrifuge**, et va envahir progressivement toute la membrane ostéoïde pour former l'**os définitif**.

À la naissance, la membrane ostéoïde n'a pas encore été totalement transformée en os.

En vue supérieure du crâne d'un enfant à la naissance, on va avoir les **vestiges** de cette membrane ostéoïde, qui sont des **points de non-fusion**.

Des os sont déjà visibles : les parties droite et gauche du **frontal** (qui vont fusionner en laissant la suture métopique), les futurs **os pariétaux**, le futur **occipital**. La membrane ostéoïde, pas encore totalement ossifiée, sépare les os.



On appelle **fontanelle** cette partie non ossifiée présente entre les os du crâne. En avant, il y a la **grande fontanelle** = **fontanelle bregmatique** entre le frontal et les deux pariétaux. En arrière, la **fontanelle lambdoïde** = **lambdatique** est située entre les deux pariétaux et l'occipital.

*Lors de l'accouchement, la sage-femme/l'obstétricien(ne) va faire un toucher vaginal et remonter ses doigts jusqu'à la présentation, le plus souvent céphalique. Elle va pouvoir orienter cette présentation en sentant au doigt la grande fontanelle. Le clinicien palpera les fontanelles (en particulier la grande) pendant les premiers mois de vie de l'enfant. En effet, ces fontanelles sont un témoin de la **tension intra-crânienne**.*

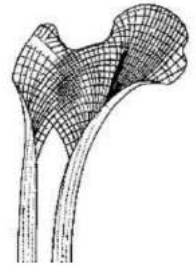
Les vestiges de la membrane ostéoïde vont disparaître pour laisser place à des articulations appelées **sutures** (articulations ligamentaires, revues après).

### Structure (surtout macroscopique) des os longs

En tout point, sauf où il y a du cartilage articulaire, les os sont recouverts par du **périoste** (membrane périostée). Ce périoste, décollable, est extrêmement épais chez l'enfant, et plus fin chez l'adulte.

Sous le périoste, on trouve l'**os cortical**, os dense de structure fibrillo-lamellaire. C'est essentiellement cet **os cortical qui est responsable de la dureté** de l'os (pas la **solidité**).

À l'intérieur de cet os cortical et aux extrémités de l'os, on trouve le **tissu spongieux**. Il est formé de lamelles osseuses qui pénètrent dans l'épiphyse (suivant les lignes de force), et qui s'organisent sous forme d'une **structure ogivale de type cintre brisé = de type gothique** (*cintre brisé habituel si la structure est vers le bas, inversé si la structure est vers le haut*).



Quel que soit le type de tissu osseux (spongieux ou cortical), l'os a une **structure fibrillo-lamellaire**. Au niveau de la corticale, l'unité osseuse est l'**ostéon**.

La structure osseuse est fibrillo-lamellaire et torsadée :

- **Fibrillo** : car ce sont des fibres, de plusieurs ostéons
- **Lamellaire** : car plusieurs lamelles osseuses s'imbriquent l'une autour de l'autre avec au centre le canal de Havers, et il y a un maillage de **microfibrilles de collagène** inversées d'une lamelle à l'autre (en partie responsables de la résistance). Enveloppée entre ces fibrilles, on trouve une **substance minérale** avec des **cristaux d'hydroxyapatite** (polygonaux, forme de pastille valda). Ils sont à l'intérieur des fibres de collagène, baignant dans la substance minérale.
- **Torsadée** : car tournés entre eux, comme les fibres d'une corde.

Ces os longs vont avoir une énorme résistance à la compression (500kg pour casser un fémur), mais une très mauvaise résistance à la torsion. La poutre osseuse est en perpétuelle destruction-reconstruction, ce qui permet d'éliminer tous les phénomènes de fatigue qui peuvent y survenir.

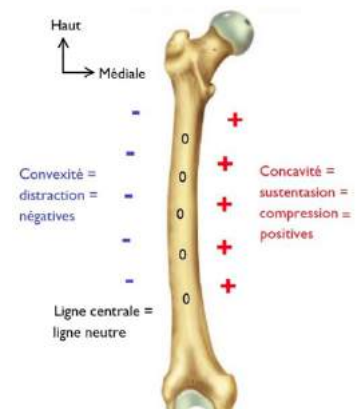
*Chez la femme, la ménopause joue un rôle clé dans la physiologie osseuse puisqu'elle modifie la sécrétion de différentes hormones qui y sont impliquées.*

Au centre de la diaphyse, il existe une cavité : la **cavité médullaire**. Elle contient de la **moelle jaune** (graisse). Il ne faut pas la confondre avec la moelle au niveau des extrémités, à l'intérieur des mailles de tissu spongieux (tissu lamellaire écrasé) : la **moelle rouge hématopoïétique**. La cavité médullaire s'évase à ses extrémités et elle est tapissée par une membrane appelée **endoste**, qui limite la cavité.



On peut assimiler l'os à une poutre. Lorsqu'on le comprime, il va se courber. Les contraintes dues à cette compression vont se répartir à la périphérie de l'os. Au centre, il n'y a aucune de contrainte : c'est la **ligne neutre**. Puisque l'os est courbé, il va y avoir une concavité et une convexité :

- Au niveau de la **concavité**, les contraintes vont être **positives de sustentation** (éventail de sustentation)
- Au niveau de la **convexité**, les contraintes vont être **négatives de distraction** (arche de distraction).



**Exemple** : les pieds des chaises sont souvent des poutres métalliques creuses car aucune contrainte ne passe à l'intérieur.

**Exemple du fémur** : Le poids du corps va aborder la tête du fémur à 160° (la tête a subi une inflexion médiale). Cela va créer des modifications du tissu spongieux selon la **loi de Wolf** (le tissu spongieux s'oriente selon les lignes de force). Des lamelles spongieuses sont incurvées latéralement.

On retrouve l'**éventail de sustentation** travaillant en pression positive et l'**arche de traction** travaillant en pression négative. Entre cette arche et cet éventail, il existe un **triangle de faiblesse** responsable des fractures de l'extrémité supérieure du fémur.

Puis, la contrainte aborde l'ensemble de l'os. Dans son ensemble le fémur a une convexité latérale donc les contraintes positives cheminent en dedans du fémur, les contraintes négatives cheminent en dehors. Le tendon du muscle tenseur du fascia lata (très puissant) rétablit l'équilibre au niveau du genou. À l'intérieur, la cavité médullaire ne subit aucune contrainte.

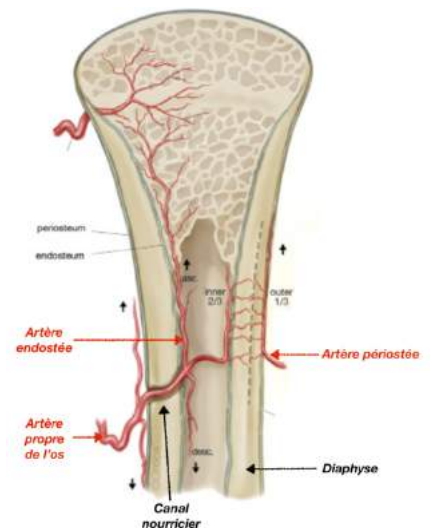
### Vascularisation de l'os (surtout artérielle)


On reprend l'exemple du fémur (vue antérieure de l'extrémité supérieure).

#### Au niveau de la diaphyse :

- Le **1/3 externe** de la diaphyse est vascularisé par des **artères périostées** qui proviennent en général des muscles de voisinage.
- La diaphyse est aussi vascularisée par des **artères propres de l'os** pénétrant dans des **canaux nourriciers**. Dans ces canaux, des **artères endostées** vascularisent les **2/3 internes** de la diaphyse.

*Au niveau du fémur, à la jonction entre le 1/3 supérieur et les 2/3 inférieurs en dedans, il y a un canal nourricier vu en radiographie à ne pas confondre avec une fracture diaphysaire.*



 Les chirurgiens essaient de ne pas trop **dépériostérer**, pour ne pas avoir d'**ischémie osseuse**.

#### Au niveau de la métaphyse :


La métaphyse est en général très bien vascularisée par les artères provenant des muscles de voisinage. Pour cette raison, il y a rarement une compromission vasculaire, une ischémie vasculaire au niveau des métaphyses.

#### Au niveau de l'épiphyse :

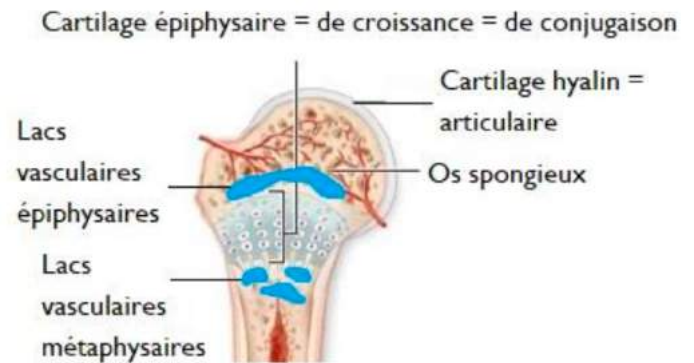
En revanche, l'épiphyse des os longs est régulièrement très mal vascularisée.

*À partir de la fémorale profonde, différentes artères circonflexes entourent la partie supérieure du fémur. Elles donnent quelques pédicules vasculaires (supérieur et supéro-postérieur pour le*

*fémur) vascularisant l'épiphyse. Une artère suit le ligament rond du fémur pour vasculariser un peu l'épiphyse.*

 **Ostéonécroses épiphysaires** : elles sont très fréquentes car les épiphyses sont mal vascularisées.

En profondeur du tissu osseux, entre épiphyse et métaphyse, une lame corticale (vestige/stigmate du cartilage épiphysaire = cartilage de la croissance en longueur des os) appelée la **physe** est entourée de **lacs vasculaires veineux** surtout métaphysaires (sur le versant non articulaire). À cet endroit, les infections (ostéomyélites osseuses) peuvent se développer (dans le cas du fémur, plutôt les inférieures car fertiles).



### Propriétés mécaniques des os

La corticale des os longs est résistante à la compression, et peu à la torsion. L'os est un **matériau élastique** : soumis à une contrainte, il va se courber et reprendre sa forme initiale lorsque la contrainte aura disparu. Il a un **module d'élasticité** (module de Young) assez bas. Cela qui veut dire qu'il est relativement plus élastique que la plupart des métaux (parmi ceux utilisés en chirurgie, le titane a un module qui se rapproche le plus de celui de l'os mais quand même plus élevé, donc moins élastique).

Lorsque la contrainte est trop importante, l'os peut subir plusieurs types de fractures :

- **Fracture fragile** : l'os casse d'un seul coup, comme du verre.
- **Fracture incomplète en motte de beurre** : chez l'enfant, l'os se déforme comme une motte de beurre suite à une compression. Il y a un tassement de la corticale osseuse.
- **Fracture incomplète en bois vert** : seule la corticale d'un des deux bords va se casser, l'autre va plier.
- **Tassement** : concerne par exemple les corps vertébraux d'un sujet âgé.
- **Fracture par fatigue** : lorsqu'un os est soumis à une contrainte légère (infra-physiologique) mais répétée, une fissuration de l'os peut apparaître (ex : fracture de fatigue du 2<sup>ème</sup> métatarsien, autrefois chez les jeunes recrues militaires)
- **Fractures pathologiques** : l'os est atteint par un processus pathologique et casse car il est déjà fragilisé.

#### Précision tut' pour comprendre

**Module de Young** : constante élastique qui relie la contrainte à la déformation. Il caractérise la raideur d'un matériau. Plus il est élevé, plus le matériau va être résistant à la déformation.

La poutre osseuse in vitro est plus fragile que la poutre osseuse in vivo.

Deux théories tentent d'expliquer la résistance habituelle de la poutre osseuse au niveau de la diaphyse des os longs :

Théorie de Rabischong et Avril	Théorie des haubans de Pauwels
<p>Ils comparent l'os à une <b>poutre</b> composite : une poutre avec deux composants. Cette poutre est formée de deux lames : chacune absorbant une partie des contraintes.</p> <p><i>Les poutres composites sont les poutres métalliques habituelles (poutres IPN avec deux composants et section en H) : un côté absorbe une partie des contraintes (positives par exemple), et l'autre côté absorbe l'autre partie (négatives).</i></p> <p>La poutre composite de Rabischong et Avril est <b>ostéo-musculaire</b> : une partie des contraintes est absorbée par les muscles, l'autre par la poutre osseuse.</p>	<p>Cette théorie est beaucoup plus connue. Elle reprend l'exemple d'une grue, qui a les bras et le pied haubanés par des cordages lui permettant de tenir droit.</p> <p>On fait donc une analogie avec l'avant-bras et l'ensemble des muscles (brachial antérieur, biceps, muscles radiaux) qui l'<b>haubanent</b>, et qui vont absorber une partie des contraintes de la poutre osseuse.</p> <p>Grâce à eux, l'avant-bras peut tenir une charge supérieure à 50 kg (sans se casser).</p>

### Solidité des métaphyses et des os courts :

La **solidité** d'un **os court** (ex : talus) est comparable à la solidité d'un bidon d'huile. Le bidon plein peut supporter le poids de notre corps sans s'écraser mais, vide, il va s'écraser. La résistance à la compression de l'os court est due à l'existence d'un tissu périphérique, comparable à de l'os cortical, enveloppant en profondeur un tissu spongieux.

**Attention** : ce n'est que l'association du tissu spongieux enveloppé par la corticale qui rend compte de la résistance à la compression des os courts.

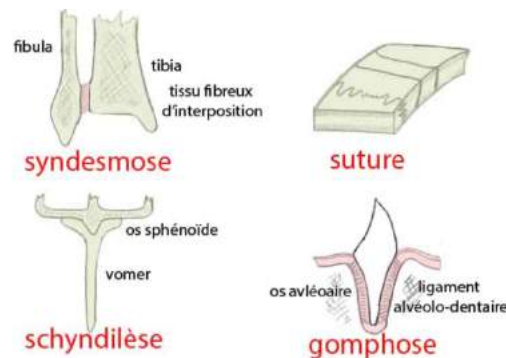
## ARTHROLOGIE

Les articulations sont les éléments d'union entre les os. Il existe trois types d'articulations, plus ou moins mobiles : les **articulations fibreuses**, les **articulations cartilagineuses**, et les **articulations synoviales**.

### Les articulations fibreuses ou de type ligamentaire

Les **articulations fibreuses** possèdent un **ligament d'union intra-articulaire** (tissu fibreux ligamentaire d'interposition). C'est l'élément essentiel de ces articulations. Parfois, elles ont une cavité articulaire (remplie par le ligament quand elle existe). Elles n'ont pas de fibrocartilage, ni de surfaces articulaires.

ARTICULATIONS FIBREUSES	
<b>Syndesmose</b>	Syndesmose = articulation fibreuse avec cavité articulaire La seule, à la connaissance du prof, est l'articulation qui unit l'extrémité inférieure du tibia à l'extrémité inférieure de la fibula. Il y a des ligaments d'union : les <b>ligaments tibio-fibulaires</b> . À l'intérieur (donc entre les ligaments d'union), il y a une <b>cavité articulaire</b> . Il n'y a pas d'encroûtement cartilagineux des surfaces articulaires.
<b>Sutures</b>	Elles sont visibles surtout au niveau de la voûte du crâne. Il y a différents types de sutures : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ les <b>sutures dentelées</b> : très fréquentes, où les dents osseuses s'imbriquent les unes dans les autres (aucune mobilité possible).</li> <li>○ les <b>sutures planes</b> : très rares, l'articulation entre les deux os est plane</li> <li>○ les <b>sutures squameuses</b> : l'articulation entre les deux os est oblique, en écaille.</li> <li>○ la <b>schindylèse</b> (suture particulière) : articulation d'un rail plein avec un rail creux (articulations sphéno-voméennes).</li> </ul>
<b>Gomphoses</b>	Elles sont au niveau des dents, mais pas des articulations pour le prof car les dents ne sont pas des os.

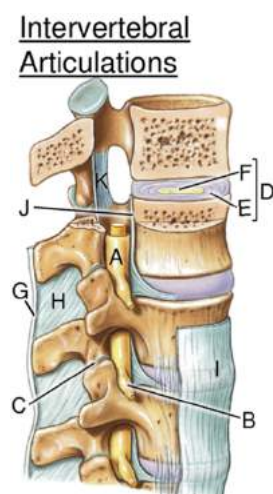


### Les articulations cartilagineuses

Ces articulations sont caractérisées par un **fibrocartilage d'interposition** (qui s'insère sur une lame cartilagineuse), une **capsule articulaire**, et des **ligaments à distance**. Quelques exemples d'articulations cartilagineuses :

**La symphyse pubienne** : elle a des surfaces articulaires encroûtées de cartilage, et une cavité articulaire remplie par un **fibrocartilage d'interposition** qui s'insère sur les surfaces cartilagineuses (le fibrocartilage est intermédiaire entre le tissu fibreux et cartilagineux). La symphyse pubienne possède aussi une capsule articulaire.

**Les articulations inter-corporéales (entre les vertèbres)** : les plateaux vertébraux sont encroûtés de cartilage et, entre ces-derniers, un fibrocartilage d'union appelé **disque intervertébral**. Il y a des ligaments de renforcement (ligaments vertébraux antérieur et postérieur) qui vont limiter ces articulations en avant et en arrière et, il y a des expansions de ces ligaments formant une capsule qui va recouvrir le DIV.



**Important** : le DIV est formé d'une part par des lamelles périphériques qui forment un anneau fibreux appelé **annulus fibrosus**. Cet anneau se fragmente de plus en plus vers son centre et, dans la partie centrale, il y a une formation pulpeuse appelée **nucleus pulposus**.

🚚 Au cours de la vie, l'anneau fibreux peut se fragmenter et le nucleus pulposus peut faire une **hernie discale** pénétrant dans le canal vertébral (ou ailleurs) et ayant des conséquences neurologiques (*la hernie discale va sûrement être détaillée dans un autre cours*).

Ces articulations ont des ligaments propres, une capsule articulaire et des ligaments à distance (ex : les ligaments inter-transversaires pour l'articulation inter-corporeale).

### Arthrogénèse des articulations cartilagineuses :

On part toujours d'une maquette cartilagineuse. L'évolution est différente de celle des articulations synoviales puisqu'il n'y a pas de cavitation. Au niveau de l'interzone, entre les maquettes des os concernés par l'articulation, il va apparaître un cartilage. Le tout (interzone + cartilage) va se transformer en **fibrocartilage** (cartilage d'interposition à l'intérieur des articulations cartilagineuses) soudé au cartilage articulaire et adhérent à la capsule.

**Attention** : les os de part et d'autre de l'articulation cartilagineuse sont en général des os courts ou plats. On n'insiste pas sur le cartilage épiphysaire car beaucoup plus complexe au niveau des os plats.

## Les articulations synoviales

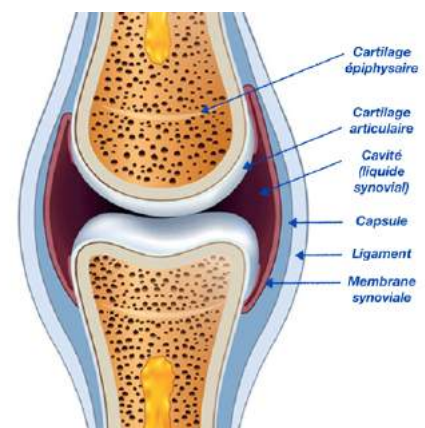
Ce sont en général des articulations **mobiles**.

Elles ont plusieurs caractéristiques :

- Une **cavité virtuelle** (qui n'existe pas mais qui peut être créée, comme le vagin). Il y a un **vide intra-articulaire**, les surfaces sont en contact l'une avec l'autre sans espaces libres.
- Un **cartilage hyalin** (cartilage articulaire qui tapisse les surfaces articulaires).
- Des **fibrocartilages** qui renforcent et agrandissent les surfaces articulaires. Ils sont de différentes formes :
  - **bourrelet** (circulaire et creux, de section triangulaire),
  - **ménisque** (croissant de lune de section triangulaire),
  - **disque** (circulaire et plein).

Ils augmentent la **congruence** des articulations synoviales.

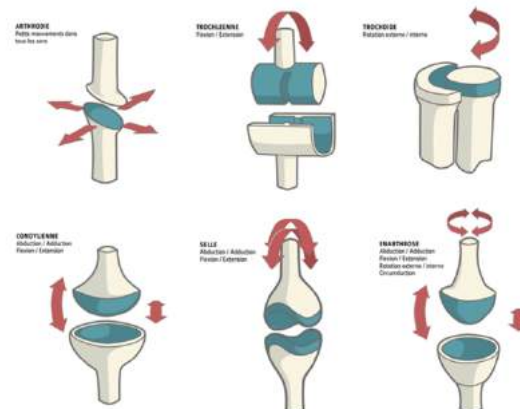
- Une **capsule** qui va manchonner l'articulation avec, sur sa face interne, la **membrane synoviale** (responsable du nom de l'articulation) qui sécrète le **liquide synovial** (extrêmement visqueux, lubrifiant, riche en acide hyaluronique)
- Des **ligaments** dont certains sont des renforcements capsulaires, d'autres sont intra-articulaires, d'autres encore sont à distance de l'articulation
- Il y a aussi du **tissu synovial graisseux** dans l'articulation qui va boucher tous les trous qu'il pourrait y avoir dans l'articulation.



### Arthrogénèse des articulations synoviales :

- Tout va encore partir d'une **maquette cartilagineuse** mais, au sein de celle-ci, se trouvent les maquettes cartilagineuses des deux os concernés par l'articulation. Initialement, les deux maquettes se rejoignent et sont enveloppées par le périchondre.
- Au sein de cette maquette cartilagineuse, il va apparaître une **interzone** (favorisée par les mouvements).
- Puis, à un stade ultérieur, les mouvements vont entraîner un phénomène de **cavitation**. Entre les deux maquettes, le périchondre va donner la **capsule articulaire**.
- Enfin, la cavité articulaire va se former par **confluence des cavitations**, et on voit apparaître des vestiges du périchondre donnant des **bourrelets, ménisques, ou disques** (fibrocartilages d'interposition intra-articulaires) selon les articulations. La **membrane synoviale** apparaît aussi (caractéristique par définition de ces articulations synoviales). À ce stade, les épiphyses sont ossifiées et on voit le cartilage épiphysaire (= de croissance) entre épiphyse et métaphyse.

CLASSIFICATION DES ARTICULATIONS SYNOVIALES			
Nom	Forme	Axe(s) de mobilité	Exemple
<b>Sphéroïde</b> (= énarthrose)	Sphère pleine dans une sphère creuse	3	Articulation coxo-fémorale
<b>Ellipsoïde</b> (= condylienne)	Ellipse pleine dans une ellipse creuse	2	Articulation radio-carpienne
<b>Trochoïde</b> (= cylindroïde)	Cylindre plein dans un cylindre creux	1	Articulation radio-ulnaire supérieure
<b>Trochlée</b> (= poulie)	Rail plein dans un rail creux	1	Articulation huméro-ulnaire
<b>En selle</b> ( <i>analogie selle-cheval</i> )	Fragment de tore plein dans un tore creux ( <i>le chevalier peut se pencher en avant-arrière/gauche-droite</i> )	2	Articulation trapézo-métacarpienne de la première colonne du pouce
<b>Plane</b> (= arthrodiè)	Deux surfaces planes	Infinité de petits mouvements	Articulation costo-vertébrale



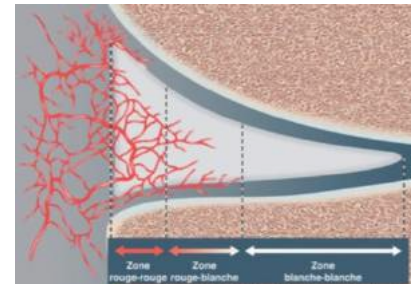
## Vascularisation et innervation des articulations synoviales

Les épiphyses des os sont très mal vascularisées, par des artères du voisinage.

La **capsule articulaire** et la **membrane synoviale** sont assez bien vascularisées, par des artères provenant elles aussi d'artères du voisinage.

Les fibrocartilages (ménisques, bourrelets, disques cartilagineux) ne sont vascularisés que dans leur partie périphérique (c'est-à-dire dans leur partie d'insertion capsulaire), appelée **zone rouge des fibrocartilages**.

C'est donc seulement cette partie vascularisée qui peut cicatriser.



Le cartilage articulaire a une **innervation sensitive** qui provient de nerfs au voisinage, extrêmement modérée.

Une **innervation proprioceptive** va concerner essentiellement la capsule et les ligaments de l'articulation, qui possèdent des récepteurs de tension. C'est grâce à eux qu'on peut savoir, même les yeux fermés, dans quelle position sont nos articulations.

Cette innervation proprioceptive est accompagnée d'une **innervation végétative** en direction du ligament et de la capsule.

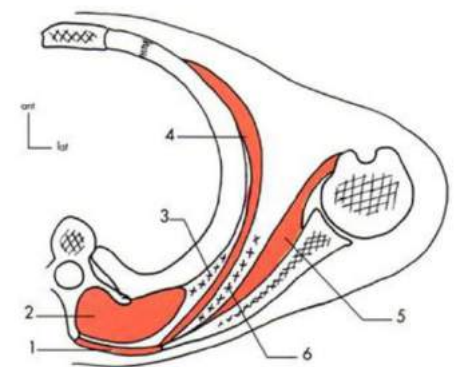
## La sysarcose

C'est une articulation qui s'établit entre des os en mouvement, et des structures plus ou moins fixes. C'est une articulation de glissement d'un os par rapport à différents plans musculaires.

Ce type d'articulation siège essentiellement au niveau de **l'articulation scapulo-thoracique** (entre la scapula et la cage thoracique en profondeur). La scapula est animée de mouvements très importants, dans tous les plans, car elle va s'articuler sur la cage thoracique.

Sur une coupe horizontale, on voit :

- Les *muscles intercostaux* (entre les côtes)
- Parmi les muscles propres de la scapula
  - Le sub-scapulaire : en avant de la scapula
  - L'*infra-épineux* : en arrière de la scapula
- Les *muscles pectoraux*
- Le muscle **serratus antérieur** (autrefois appelé muscle **grand dentelé**) : relie le bord spinal (médial) de la scapula à la cage thoracique



Il délimite **2 espaces de glissement**, remplis par du tissu graisseux, pour permettre le glissement des différentes structures :

- Entre le serratus antérieur et la scapula (6)
- Entre le serratus antérieur et la cage thoracique (3)

## Biomécanique du cartilage hyalin/articulaire

### Organisation du cartilage hyalin :

En profondeur, on trouve l'os spongieux épiphysaire. Juste au-dessus, on trouve une bande osseuse dense de condensation d'os sous-chondrale.

Sur cette bande osseuse sous-chondrale se trouve le cartilage hyalin/articulaire :

- **Zone superficielle** : la plus superficielle, où les fibres de collagènes s'horizontalisent par rapport à la surface articulaire. On retrouve aussi des chondrocytes (cellules cartilagineuses).
- **Zone profonde** : moyenne, où les fibres de collagènes dessinent des mailles **en nid d'abeille**, responsables des propriétés élastiques du cartilage. Ces mailles de collagène emprisonnent des cellules cartilagineuses et un **gel** riche en **mucopolysaccharides** et **chondroïtine sulfate**.
- **Zone basale** : la plus profonde, les fibres de collagène y sont **denses** et adhèrent à l'os sous chondral

La surface est bleue, nacrée, brillante, apparemment lisse (mais elle est plus ou moins ondulée en réalité). Cette surface est perforée par des **pores** (importants pour la nutrition).

Le cartilage articulaire se nourrit comme une éponge :

- Quand il est soumis à une pression, le cartilage s'écrase et se vide de ses substances.
- Quand il est soumis à une dépression, il s'expand et absorbe les substances provenant du liquide synovial qui pénètrent par les pores de surface, d'autres pénètrent en passant à travers l'os sous-chondral dans la zone basale.

**Attention** : il n'y a pas de vaisseaux dans le cartilage articulaire

Le cartilage hyalin est élastique. L'alternance de pression/dépression est nécessaire à la physiologie du cartilage hyalin, pour sa nutrition. Sans contrainte de pression, le cartilage hyalin se détériore spontanément.

Cependant, avec des contraintes excessives, le cartilage articulaire va aussi se détériorer.

#### **Usure du cartilage :**

Soumis à une contrainte normale, le cartilage s'écrase, puis reprend sa forme initiale à l'arrêt de la contrainte.

En cas une contrainte trop importante, il y destruction de la zone superficielle = **usure par fibrillation** du cartilage hyalin. Le sommet de la zone profonde (des structures en nid d'abeille) va apparaître, donnant un aspect macroscopique **en chair de crabe** (aspect fibrillaire).


#### Vue schématique des contraintes :

Dans le liquide synovial, il y a des substances lubrifiantes, dont l'**acide hyaluronique** (et la « lubricine »). Le cartilage hyalin a une structure légèrement **ondulée**.

Au niveau des articulations, quand la pression augmente, les parois cartilagineuses vont se rapprocher, la vitesse d'écoulement des substances lubrifiantes va augmenter.

Ainsi, pour différents régimes de pressions, on retrouve :

Lubrification hydrodynamique à flux laminaire	Lubrification limite	Lubrification par gélification
Vitesse ↑ Pression ↓	Vitesse ↑ Pression ↑	Vitesse ↑ Pression ↑↑↑
Les molécules d'acide hyaluronique s'organisent parallèlement à la surface	Les molécules d'acide hyaluronique adhèrent aux parois cartilagineuses et empêchent le contact entre les cartilages. Pas de contact, donc pas d'usure de cartilage	Les molécules d'acide hyaluronique se transforment en roulement à bille et se gélifient. Cette conformation permet le glissement des surfaces articulaires.

 Ce n'est que dans des **conditions extrêmes de pression** qu'on retrouve une **usure par fibrillation**, faisant disparaître la zone superficielle cartilagineuse.

### Amortissement et propulsion articulaire :

Il existe différentes phases dans la mécanique articulaire :

#### 1. Amortissement

Lorsque l'on marche, on attaque par le talon au sol. Il y a une phase d'amortissement qui est due à la chute et au contact de l'avant du pied avec le sol. Cet amortissement nécessite un muscle : le **muscle jambier antérieur** (c'est pour ça que les marcheurs de fond ont mal à ce muscle à la fin de leur longue course).

#### 2. Support

Ensuite, le pas porte le poids du corps. Toute la plante du pied appuie au sol.

#### 3. Propulsion

Enfin, cette phase qui se fait sur l'avant-pied, pour propulser le corps en avant.

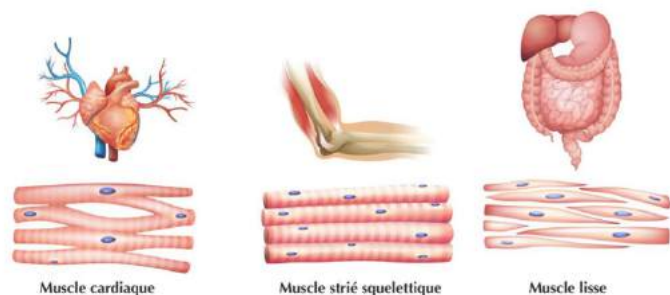
Tout ceci rend compte du **rôle important d'élasticité et d'amortissement** de l'ensemble des articulations pour l'appareil locomoteur.

## MYOLOGIE

### Anatomie générale des muscles

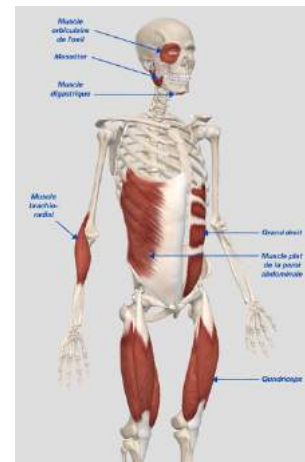
Les muscles sont des organes charnus, contractiles, qui transforment l'énergie chimique en mouvement. Ce sont les **organes du mouvement**. Il y a plusieurs types de muscles selon leur histologie :

- **Muscles rouges striés** : ce sont les muscles du squelette, de contraction volontaire
- **Myocarde** : muscle rouge involontaire, mais de contraction rapide
- **Muscles lisses** : muscles de contraction involontaire, de la vie végétative, de contraction lente



Classification selon la **forme** des muscles :

- **Muscles orbiculaires** : circulaires, perforés au centre (ex : muscle orbiculaire des lèvres, de l'oeil), certains prennent le nom de **sphincter** (ex : sphincter strié de l'anus)
- **Muscles courts** : petite taille (ex : masseter)
- **Muscles longs** : longueur est la plus grande dimension (ex : quadriceps, grand droit de l'organisme)
  - **Monogastrique** : un seul ventre musculaire (ex : brachio-radial)
  - **Plurigastrique** : plusieurs ventres musculaires, organisés **en série** ou **en parallèle**.  
Exemple de muscles en série : muscle digastrique, grand droit de l'abdomen  
Exemple de muscle en parallèle : muscle quadriceps
- **Muscles plats** : l'épaisseur est de très faible taille (ex : muscles plats de la paroi abdominale)

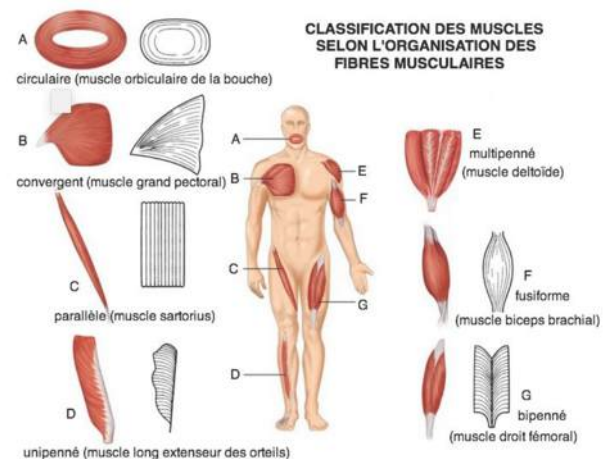


Les muscles peuvent aussi être classés selon le type de terminaison musculaire. Celle-ci peut se faire :

- Sur un **tendon**. Ce tendon peut être :
  - **Direct** : il continue la direction du muscle
  - **Réfléchi** : il a une direction à 90° par rapport aux fibres musculaires qui s'y insèrent
  - **Récurrent** : il a une direction inverse à celle du muscle
 Le muscle semi-membraneux présente les 3 types de tendons terminaux.

L'insertion des fibres musculaires sur les tendons peut aussi se faire de différentes manières : terminaison **bout à bout**, **fusiforme** (en forme de cône), **en barbe de plume** (**unipennée**, **bipennée** ou **multipennée** (ex : deltoïde))

- Sur la **peau** (pour les muscles peauciers de la face)
- Sur une **aponévrose** (= lame tendineuse aplatie)



Insertion du tendon dans l'os :

Enthèses : insertions tendineuses, ou ligamentaires, ou capsulaires sur l'os

On va parler de l'**enthèse musculaire**, c'est-à-dire de la façon dont le tendon va s'insérer dans l'os. La plupart sont des **enthèses fibrocartilagineuses** (les fibreuses sont très rares). Dans l'enthèse fibrocartilagineuse, les fibres tendineuses traversent une **fine couche cartilagineuse** avant de pénétrer dans l'os où elles s'étalent comme les racines d'un arbre dans la terre (ce qui augmente la **résistance** de la structure). Lorsque le tendon musculaire est arraché, il va emporter avec lui des fragments osseux.

### Pathologies liées aux enthèses :

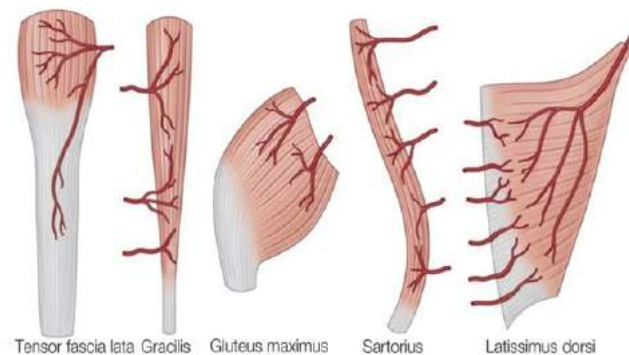
La pathologie inflammatoire de ces régions est très fréquente : **enthésite**.

Il y a des maladies de ces enthèses comme la **spondylarthrite ankylosante** (ensemble de lésions au niveau des insertions tendineuses, capsulaires et aponévrotiques sur l'os).

### Vascularisation des muscles

Ils sont vascularisés par des artères et drainés par des veines. Les veines sont de volume et de taille largement supérieurs (x2, x3) aux artères. Elles réalisent souvent des réseaux **plexiformes** autour des artères. Il y a différents types de vascularisation des muscles :

- Certains muscles sont dits **polarisés** lorsqu'ils reçoivent, en un point déterminé, un seul pédicule.
- D'autres muscles peuvent en recevoir plusieurs (dans ce cas, il y en a souvent un principal et un (des) accessoire(s)).
- D'autres reçoivent deux pédicules artériels principaux.
- D'autres reçoivent une vascularisation **en échelle**, plusieurs pédicules de calibre égal sur toute la hauteur du muscle (ex : muscles plats de l'abdomen).
- Parfois, on définit un pédicule principal parmi ces artères en échelle.



Tout ceci est important pour les chirurgiens plasticiens car ils font des transferts musculaires et doivent donc connaître parfaitement la vascularisation du muscle. Un muscle avec plusieurs pédicules est plus difficile à transférer, et il faut absolument sauver le pédicule principal.

### Innervation des muscles

L'**innervation motrice** des muscles provient du **motoneurone alpha**, situé au niveau de la **corne antérieure** de la moelle. La fibre emprunte la **racine antérieure**, puis le **nerf spinal** jusqu'au niveau des fibres musculaires.

L'**unité motrice** formée par une fibre nerveuse issue du motoneurone alpha et les différentes fibres musculaires s'appelle un **myone**.

**Très important** : La **finesse** (= précision) du mouvement est inversement proportionnelle au nombre de fibres musculaires par neurone.

Plus il y a de neurones pour un certain nombre de fibres musculaires, plus la précision est importante. Plus il y a de fibres musculaires pour un certain nombre de neurones, plus la précision est mauvaise.

Explication tut' :

- Si un neurone donné innerve peu de fibres musculaires, le muscle va recevoir plus de neurones afin que la totalité de ses fibres soient innervées. On aura donc un muscle innervé par beaucoup de neurones, donc très précis.
- Au contraire, si un neurone donné innerve beaucoup de fibres musculaires, le muscle recevra moins de neurones en tout, et sera donc moins précis.

Instant comparaison : de façon imagée, vous pouvez le voir comme si un neurone innervant beaucoup de fibres était surchargé de travail, alors qu'un neurone innervant peu de fibres pouvait bien tout gérer en même temps et fournir une meilleure précision.

Ainsi, les muscles avec les mouvements les plus fins (oculaires, digitaux) ont très peu de fibres musculaires par fibre nerveuse, et inversement pour les muscles puissants.

Le nerf rejoint le muscle au niveau de la **plaque motrice**, qui correspond environ au **point moteur** (point de stimulation électrique du muscle ou éventuellement le point de réception électrique du muscle). Des muscles innervés par plusieurs nerfs ont plusieurs plaques motrices.

L'innervation motrice se subdivise en innervation radiculaire et tronculaire :

- **Innervation radiculaire (= segmentaire)** : ce sont les racines nerveuses qui vont innerver ce muscle.
- **Innervation tronculaire** : elle est formée par le nerf qui provient de ces racines et qui va au muscle.

Ex : le deltoïde est innervé par les myélotômes C5 et C6, donc par les racines C5 et C6 qui donnent les neurones formant le nerf axillaire. Il y a souvent une racine prédominante, dans ce cas la racine C5.

Les racines C5 et C6 représentent l'innervation radiculaire ou segmentaire. Elles donnent le nerf axillaire, qui représente l'innervation tronculaire du deltoïde.

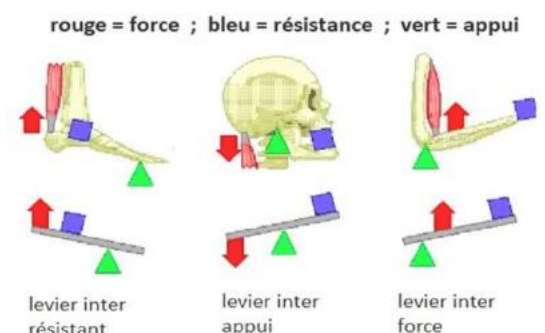
L'**innervation sensitive** est essentiellement représentée par le fuseau neuro-musculaire (non détaillée).

L'**innervation végétative** innerve essentiellement les vaisseaux musculaires, notamment les artères (vasoconstriction au repos ou vasodilatation en exercice).

### Anatomie fonctionnelle et leviers

Il existe trois types de leviers :

- **Levier inter-appui** : l'appui est entre la force et la résistance.  
*Le crâne est en équilibre au niveau de son point d'appui sur la colonne vertébrale. La résistance est le poids du crâne déjeté en avant. La force musculaire s'exerce sur l'occipital.*
- **Levier inter-résistance** : la résistance est entre l'appui et la force.  
*Un pied en flexion plantaire avec appui au sol sur les orteils. La résistance du poids du corps est au niveau*



de la cheville, l'appui au niveau des orteils. La force des muscles fléchisseurs plantaires, en arrière, tire le talon vers le haut.

- **Lever inter-force** : la force est entre la résistance et l'appui.  
Un membre supérieur en flexion du coude avec un poids dans les mains. La résistance s'exerce au niveau de la main. L'appui se trouve au niveau du coude. La force (du biceps) s'exerce sur la tubérosité du radius.

### Contraction et testing musculaire

Le **raccourcissement** d'un muscle est proportionnel à sa longueur et sensiblement égal à la moitié de sa longueur.

Le raccourcissement se fait sans diminution de volume du muscle (les muscles changent de forme).

Les muscles bougent sous la peau (comme des rats, d'où leur nom de muscle selon le prof car, en latin, musculus = rat) et donnent l'impression de gonfler, mais il n'y a pas de changement de volume.

Lorsque la contraction est **isométrique** (sans raccourcissement), on dit que le travail est **statique** (sans mouvement).

La contraction est **isotonique** lorsque le travail est **dynamique**.

La force d'un muscle est proportionnelle à son volume.

Le **testing musculaire** est une méthode (utilisée par les kinés par exemple) pour quantifier un niveau de contraction musculaire chez un patient. Il permet de noter le niveau de récupération musculaire après un accident par exemple.

Stade 0	Absence de contraction
Stade 1	Contraction perceptible sans mouvement
Stade 2	Mouvement possible en apesanteur
Stade 3	Mouvement possible contre pesanteur
Stade 4	Mouvement possible contre résistance (fonction musculaire diminuée)
Stade 5	Contraction musculaire normale

**Attention** : les stades vont de 0 à 5, il y a donc 6 niveaux différents de contraction musculaire !!

### Élasticité et tonus musculaire

**Muscle agoniste** : il provoque un mouvement (exemple : mouvement de flexion du coude fait par 2 muscles agonistes : biceps et brachial antérieur)

**Muscle antagoniste** : il s'oppose au mouvement du muscle agoniste (même exemple : triceps brachial)

Un mouvement se fait grâce aux muscles agonistes et sous le contrôle des muscles antagonistes (rôles de la motricité volontaire et involontaire).

**Muscles mono-articulaires** (ex : brachi-radial) et **polyarticulaires** (biceps brachial)


**Muscles extenseurs, fléchisseurs, rotateurs, abducteurs, adducteurs,...**

## Anatomie générale des annexes du muscle

En coupe horizontale d'un membre, on voit la section du squelette, mais surtout on voit que les muscles sont entourés par un **fascia musculaire** (prenant le nom de la région). À l'intérieur des fascias, il y a des **membranes inter-osseuses** (structures ligamentaires) et des **septums**. Fascias, membranes, et septums délimitent des **loges musculaires** avec, à l'intérieur, les muscles et les vaisseaux. Les loges sont peu extensibles.

Il peut y avoir une **hyperpression** dans la loge, visible en cas de :

- **levée d'obstacle** (membre comprimé qui est décomprimé tout d'un coup) : un œdème va apparaître et une hyperpression se constitue à l'intérieur de la loge
- **traumatismes** avec suffusion (infiltration) sanguine à l'intérieur de la loge

 Lorsque la pression augmente, apparaît le **syndrome de loge** (très fréquent) : ischémie d'origine capillaire par hyperpression à l'intérieur de la loge alors que les artères principales sont toujours battantes.


Les capillaires sont comprimés et le syndrome apparaît lorsque la pression dans la loge dépasse la moitié de la minima (= la moitié de la pression diastolique). Ceci entraîne une **nécrose musculaire** par **ischémie capillaire**. C'est gravissime et peut être mortel. Il est caractérisé par une **paralysie, douleur atroce** : urgence chirurgicale.

On le traite très facilement en ouvrant la loge par **fasciotomie** (= incision verticale du fascia) : la pression va pouvoir diminuer permettant à nouveau la perfusion capillaire du muscle et la restauration musculaire.

Les articulations mobiles nécessitent une mobilité importante de la peau en regard (ex : coude et genou). Différentes annexes vont permettre de faciliter le mouvement :

**Bourses séreuses** : bourses **synoviales** avec deux feuillets et un vide central. Elles sont sous la peau et permettent son **glissement** dans les zones de grande mobilité (ex : sous la peau du genou devant la patella).

**Gaines séreuses** : membrane **synoviale** qui enveloppe et permet les **glissements** du tendon par rapport au plan osseux (ex : tendon fléchisseur du doigt enveloppé par une gaine séreuse). À ses extrémités, la gaine présente des replis permettant son mouvement avec le tendon appelés **replis prépucciaux**. La gaine est formée d'une double membrane ouverte dans sa partie profonde où le tendon reçoit éventuellement sa vascularisation.

 Dans la **polyarthrite rhumatoïde**, il y a une inflammation des gaines synoviales avec possible rupture des tendons.

**Gaines fibreuses** : poulies de réflexion qui permettent les **mouvements** des tendons et des os, elles empêchent que les tendons s'éloignent du plan osseux.

Instant dédis (très short) :

À toi qui lis cette fiche, à Zélie et Mathieu les cotuts et nos vieux parce que vraiment la meilleure équipe, à Hoss et Walid la famille, et à tous les autres qui attendront parce que j'ai plus de place...