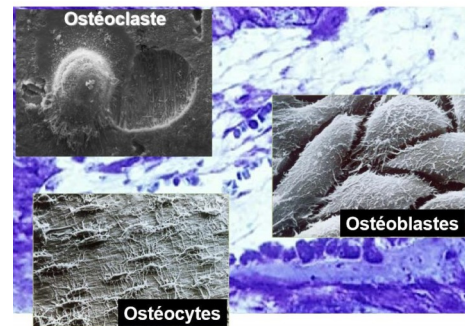


# HISTOLOGIE ET PHYSIOLOGIE DU TISSU SQUELETTIQUE

*Cellule e-learning*  
*Mounir KASRI*

## Os et cellules osseuses



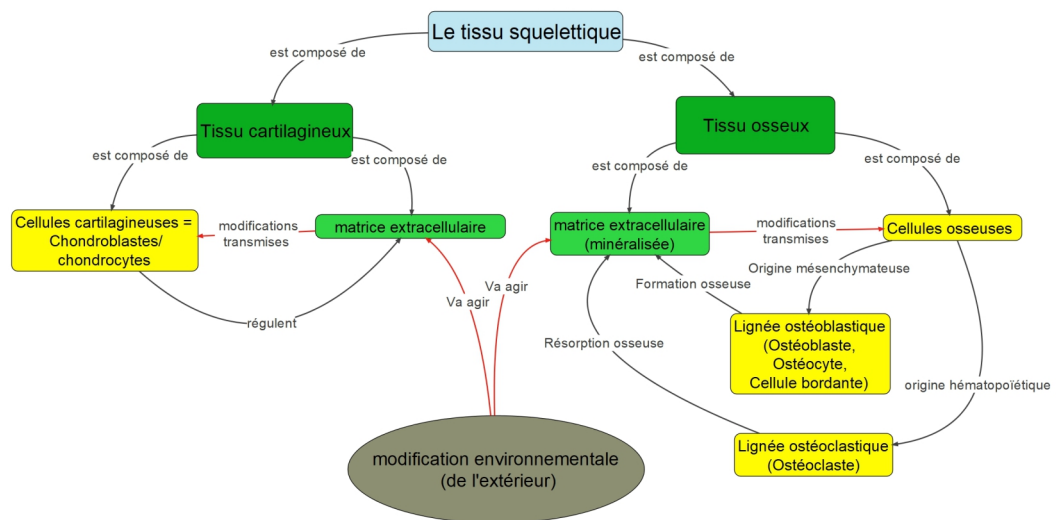
# Table des matières



<b>Introduction</b>	3
<b>I - LE TISSU CARTILAGINEUX</b>	4
1. Les différents types de cartilages .....	4
2. Organisation du tissu cartilagineux .....	5
3. Composition du tissu cartilagineux .....	6
4. Mécanobiologie du cartilage .....	8
5. Croissance du cartilage .....	9
<b>II - LE TISSU OSSEUX</b>	11
1. Organisation du tissu osseux .....	11
2. Composition du tissu osseux .....	14
3. Les cellules osseuses .....	15
4. Croissance osseuse .....	17
<b>Abréviations</b>	21
<b>Références</b>	22

# Introduction

## Carte mentale chapitre 2



Carte mentale du chapitre 2

le tissu squelettique est formé de 2 types de tissus, le *tissu cartilagineux* et le *tissu osseux*, tous deux de nature conjonctive et donc composés de cellules et d'une matrice extra cellulaire.

Cependant, ils possèdent la particularité d'être de consistance solide et plus spécifiquement pour le tissu osseux d'être minéralisé.

# LE TISSU CARTILAGINEUX



Chez l'adulte, *le cartilage a un rôle prépondérant au niveau des articulations*. La surface de ce cartilage joue un rôle important dans :

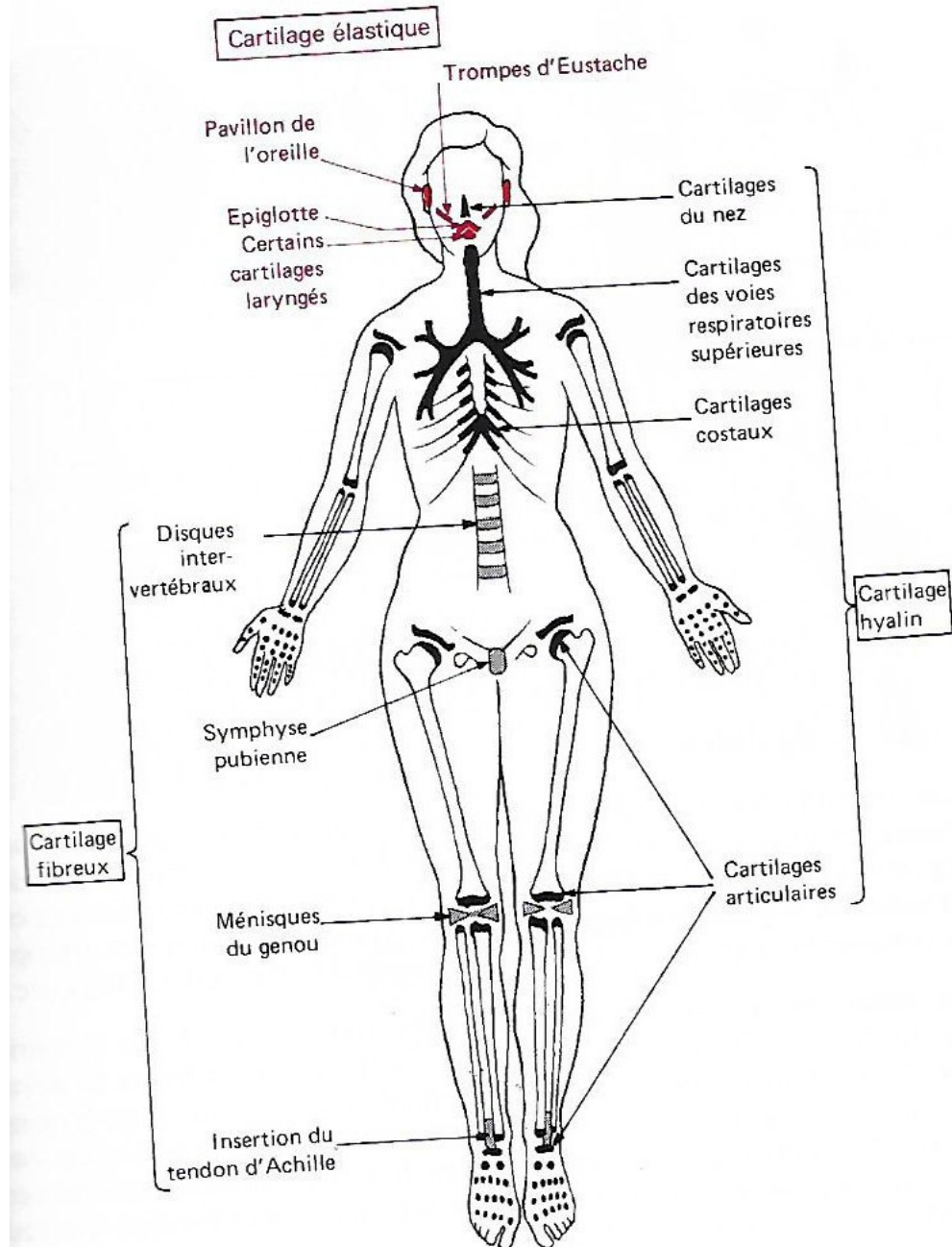
- la physiologie de ce tissu puisque c'est elle qui reçoit en premier les pressions, c'est elle qui est soumise aux forces de cisaillement.
- Elle est le filtre sélectif à travers lequel passe les substances nutritives venant du liquide synovial, seule source d'alimentation des chondrocytes, dans des conditions physiologiques.
- Elle joue enfin un rôle majeur, avec le fin film du liquide synovial qui la recouvre, dans la lubrification de l'articulation. C'est à son niveau qu'apparaissent les premiers signes histologiques de la désorganisation structurale de l'arthrose.

Nous insisterons dans ce cours, sur ce type de cartilage (cartilage articulaire). Mais quelques rappels sur la variété dans le tissu cartilagineux s'imposent.

## 1. Les différents types de cartilages

il existe trois variétés de cartilages :

- *le cartilage hyalin* : contient peu de fibres et uniquement des fibres collagènes de petit calibre (réseau de maillages larges). Sont localisés au niveau des os longs et courts du fœtus, des cartilages articulaires, nasaux, trachéaux bronchiques, costaux, ainsi que certains cartilages laryngés.
- *le cartilage fibreux (fibrocartilage)* : contient beaucoup de fibres de collagène de type I groupées en faisceaux. Ils sont localisés au niveau des disques intervertébraux, l'insertion du tendon d'Achille et les ménisques des genoux.
- *le cartilage élastique* : contient beaucoup de fibres élastiques et quelques fibres de collagènes. Ils sont localisés au niveau des pavillons des oreilles, la paroi de la trompe d'eustache, l'épiglotte et certains cartilages du larynx.

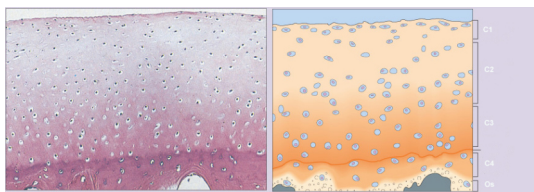


*répartition des 3 grands types de cartilages dans l'organisme adulte*

## 2. Organisation du tissu cartilagineux

Macroscopiquement, à l'ouverture d'une articulation, le cartilage articulaire apparaît blanc nacré, lisse à l'œil nu, ferme mais légèrement dépressible à la palpation. Avec l'âge, il devient blanc jaunâtre. A la périphérie de l'articulation, il se poursuit par une zone de transition avec la couche fibreuse de la capsule synoviale et avec le périoste épiphysaire. Son épaisseur est variable selon l'articulation; elle est plus importante aux articulations des membres inférieurs (plus chargées). Dans une articulation donnée, l'épaisseur est maximale dans les zones supportant le maximum de charge. Les cartilages articulaires sont un peu plus épais chez l'homme que chez la femme, ils ne s'amincissent pas avec l'âge.

Microscopiquement, *le cartilage est un tissu sans vaisseau et sans nerf*. Sous le microscope, sous une surface acellulaire, on observe une plage faite d'un tissu homogène dans lequel sont disposées, plus ou moins en colonnettes, dont l'axe principal est perpendiculaire à la surface, des cellules (les chondrocytes) enchassées dans des logettes (les chondroplastes). A l'opposé de la surface, le cartilage est posé sur l'os sous-chondral. Ces cellules représentent 3 % du volume du cartilage. *Elles vivent en milieu anaérobie*.



Coupe histologique et schéma d'un cartilage articulaire montrant les 4 couches.

La couche profonde (C3) est séparée de la couche calcifiée (C4) par une fine ligne irrégulière (« tide mark »).

C1 : couche superficielle ou tangentielle (les fibres de collagène étant parallèle à la surface), d'environ 3 % de l'épaisseur,

C2 : couche moyenne ou transitionnelle (≈ 5 %),

C3 : couche profonde, radiée (à fibres verticales) la plus épaisse

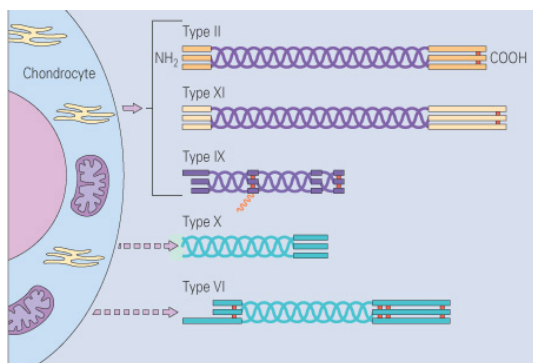
C4 : couche calcifiée (2-3 %).

### 3. Composition du tissu cartilagineux

Le tissu cartilagineux est composé de 70 à 80 % d'eau, contenant des cellules cartilagineuses ou chondrocytes, baignant dans une matrice extracellulaire contenant :

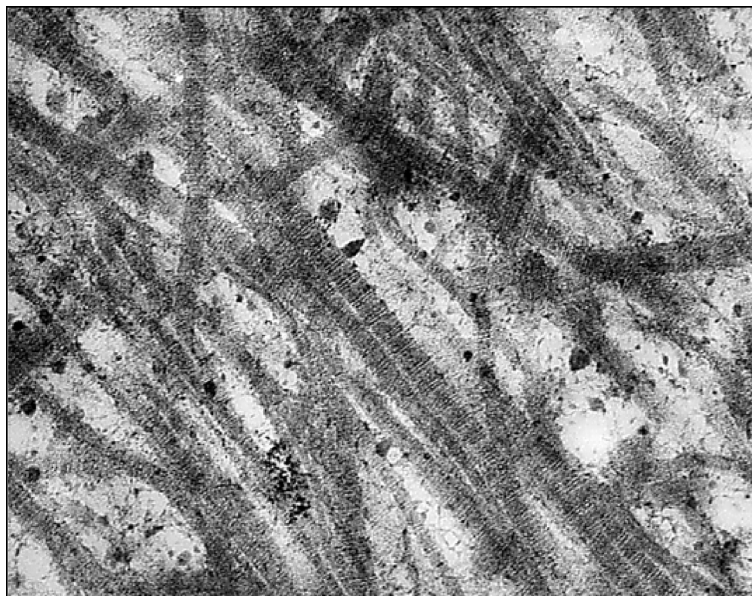
- du collagène de type II
- des hyaluronates ou acide hyaluronique (=GAG\* non lié à une protéine)
- des protéoglycanes sulfatés
- dans certains cas en plus, collagène de type I (cartilage fibreux) ou élastine (cartilages élastiques)

Ce sont les *cellules cartilagineuses ou chondrocytes*, qui élaborent cette substance fondamentale ou Matrice Extra Cellulaire et la détruisent, assurant ainsi l'homéostasie du tissu cartilagineux.

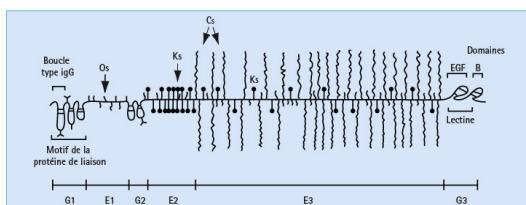


les différents types de collagènes dans cartilage articulaire

*Collagène* : protéine fibrillaire qui se compose de trois chaînes de protéines, se liant entre elles pour former une triple hélice. il permet une une cohésion des tissus, en donnant une certaine résistance des tissus à l'élasticité lorsque ceux-ci sont étirés.



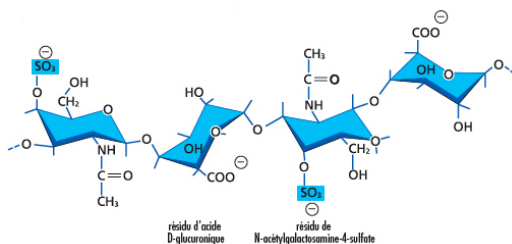
Collagène 2 dans la couche profonde



Structure d'un protéoglycane (PG)

Ce sont des molécules formées par une protéine porteuse (« core protéine ») sur laquelle viennent se brancher des molécules de glycoaminoglycannes (GAG), longues chaînes disaccharidiques de chondroïtine-sulfates ou de kératane-sulfates. Ces PG monomères viennent se brancher sur une longue chaîne d'acide hyaluronique pour former des polymères de PG de haut poids moléculaire. Cet amarrage est stabilisé par des protéines de liaison.

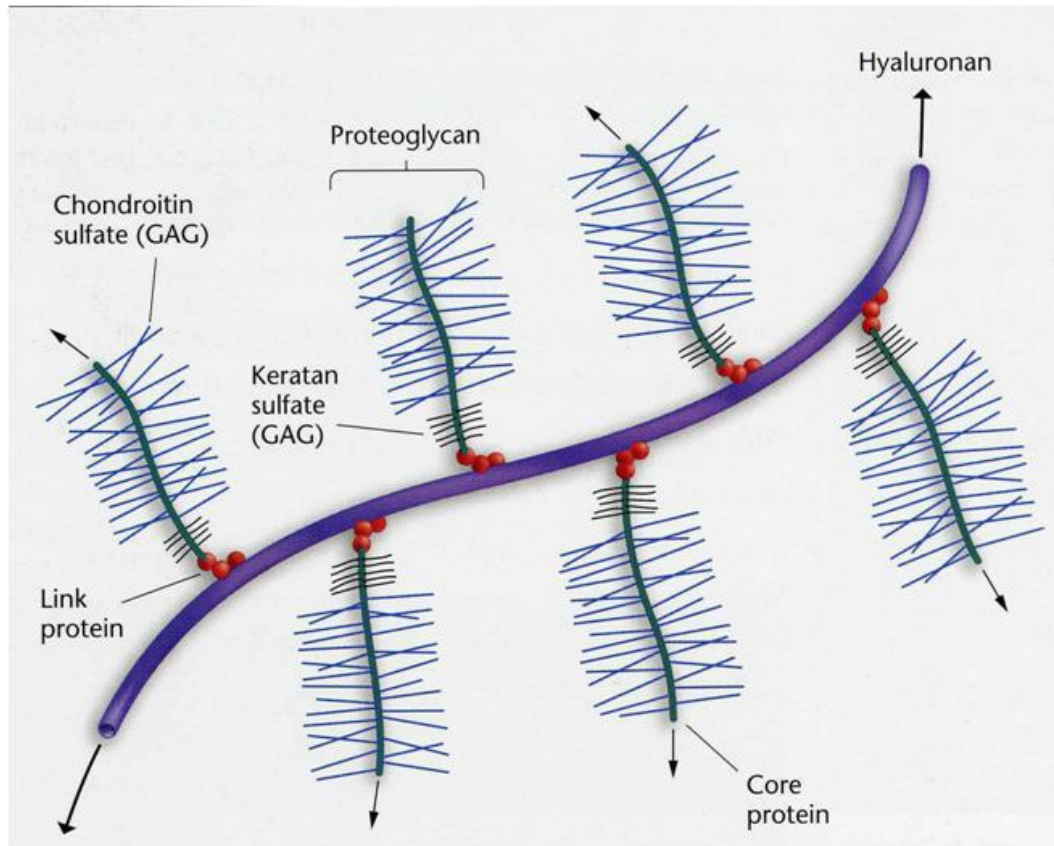
Ces protéoglycannes constituent un véritable gel hydrophile qui occupe un volume considérable par rapport à son contenu glucidique et l'eau constitue ainsi 70-75 % du poids humide du cartilage articulaire adulte.



Structure d'un glycoaminoglycane (GAG)

Les GAG ont des charges négatives sur leurs sulfates carboxylés et peuvent ainsi capter les ions  $Ca^{++}$  et  $Na^{+}$  qui, eux-mêmes, attirent l'eau.





association acide hyaluronique et proteoglycannes

La particularité de la substance fondamentale du tissu cartilagineux est donc :

la disposition des Macromolécules hydrophiles, avec une structure en «brosse à bouteille», dont :

- L'axe central est formé d'Acide Hyaluronique.
- Les «poils» sont formés de protéoglycannes riches en chondroïtine sulfate et kératine sulfate (glycosaminoglycannes très hydrophiles)

Grande capacité de rétention de l'eau, associant déformabilité et résistance, ce qui permet la diffusion et/ou la fixation de nombreuses molécules (facteurs de croissance, cytokines, métabolites...)

## 4. Mécanobiologie du cartilage

La pression et la friction (charge et mouvement) sont vitales pour le cartilage articulaire et on peut créer des altérations du cartilage par immobilisation plâtrée du genou du chien ou du lapin. Cependant ces lésions sont totalement ou partiellement réversibles à la reprise de la marche et ne correspondent pas à l'arthrose humaine.

Le coefficient de friction du cartilage est très faible. Les irrégularités de surface observées dès les stades précoces de la maladie arthrosique augmentent ce coefficient par 3, ce qui vient aggraver les lésions (ulcération, fissures) en un véritable cercle vicieux mécanique et augmenter la perméabilité du cartilage aux petites molécules du liquide synovial, notamment les cytokines.

La lubrification du cartilage se fait grâce aux propriétés visco-élastiques de l'acide hyaluronique contenu dans le liquide synovial. Dans l'arthrose, cet acide hyaluronique est en concentrations diminuées et son poids moléculaire est abaissé.

L'administration thérapeutique d'acides hyaluroniques intra-articulaire est fondée sur ce constat.



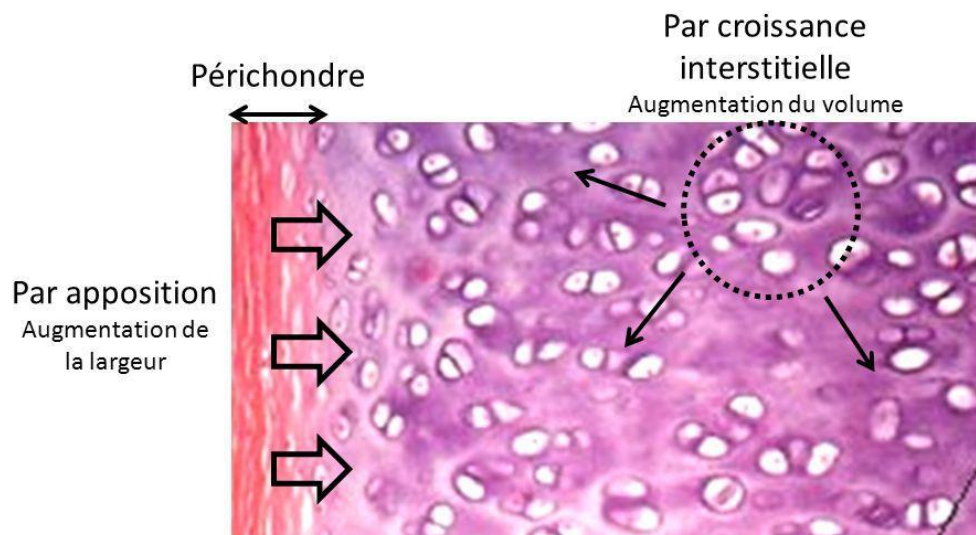
## 5. Croissance du cartilage

le tissu cartilagineux n'étant pas vascularisé (ni lymphé et pas innervé), tous les échanges métaboliques se feront par diffusion à travers sa matrice extracellulaire (soit à partir du péricondre ou du liquide synovial pour le cartilage articulaire qui ne possède pas de péricondre).

Ce manque de vascularisation limitera sa croissance, qui se fait selon 2 modes :

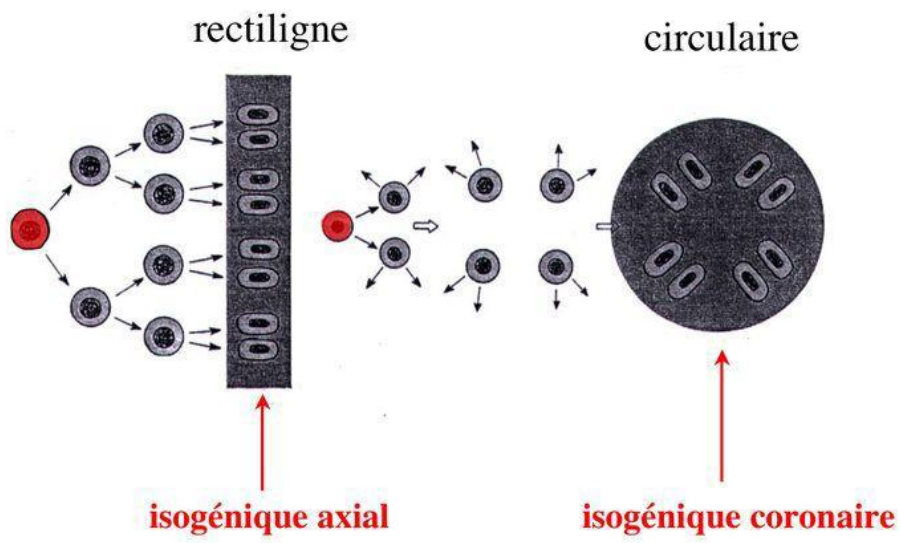
- croissance appositionnelle (ou péricondrale) qui s'effectue par transformation progressive des cellules le plus internes du péricondre (tissu conjonctif) en chondrocytes fonctionnels et ainsi apposition de couches successives à la surface de la masse cartilagineuse.
- Croissance interstitielle (rare chez l'adulte) se fait par mitoses des chondrocytes. Les 2 cellules filles siégeant quelques temps dans le même chondroplaste. Si les mitoses se font suivant une seule direction, on aboutit à un groupe de chondrocytes disposés en ligne, et si les mitoses se succèdent dans des directions diverses, on aboutit à un groupe de chondrocytes disposés circulairement.

## Croissance du cartilage



*Croissance du cartilage*

## croissance interstitielle



*La croissance interstitielle*

# LE TISSU OSSEUX

II

Le tissu osseux de par sa structure et ses fonctions joue un rôle :

- *Protecteur* : le système nerveux central est protégé par la boîte crânienne et les vertèbres.
- *métabolique* : maintien de l'équilibre phosphocalcique. Notre squelette renferme 99% du calcium et 90% du phosphore de l'organisme, qui jouent un rôle biologique prépondérant dans la vie cellulaire, la transmission nerveuse et la coagulation sanguine.
- *hématopoïétique* : la moelle osseuse contient les cellules hématopoïétiques, au sein de l'os spongieux, c'est le lieu de fabrication des cellules sanguines.
- *biomécanique* : l'os est à la fois solide et résistant mais aussi, dans une certaine mesure, élastique. Ces propriétés mécaniques lui permettent de supporter les effets de la pesanteur, de résister aux contraintes mécaniques externes, ainsi qu'aux forces des contractions musculaires.

## 1. Organisation du tissu osseux

### *Organisation structurale*

#### *Structure primaire*

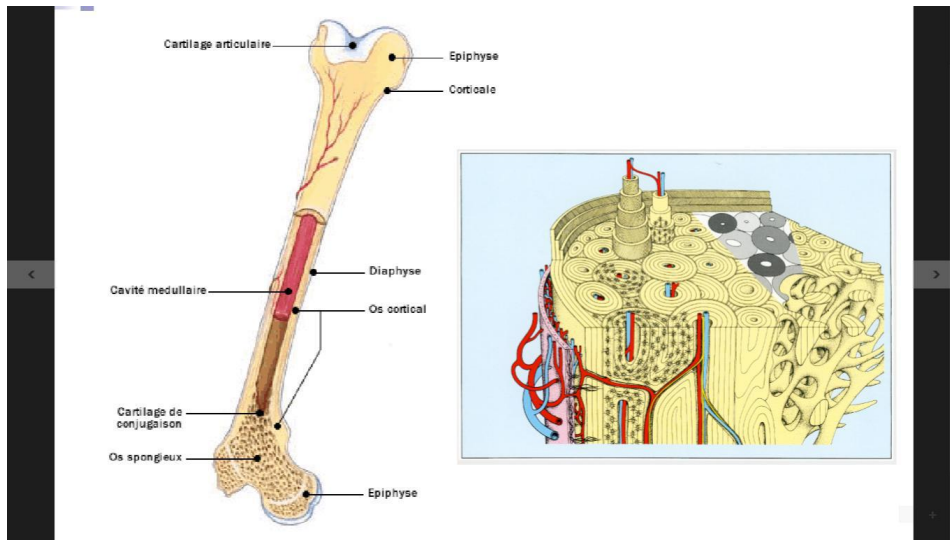
*Os tissé ou fibreux* : Il est caractérisé par une trame collagénique peu ordonnée et irrégulièrement minéralisée. Les fibres de collagène y sont de calibre inégal et les ostéocytes volumineux et nombreux. Il est synthétisé rapidement et il est mécaniquement peu résistant. C'est le seul type de tissu osseux qui se forme de novo sans matrice préalable. Il est caractéristique de l'os foetal mais on peut l'observer dans des situations pathologiques: calcs de fracture, ossifications ectopiques, tumeurs ostéogéniques etc....

Au fur et à mesure de la maturation des pièces osseuses l'os fibreux sera remplacé par de l'os lamellaire.

*Os lamellaire* : Il est constitué de lamelles, de 3 à 7 microns d'épaisseur, parallèles entre elles. Cet os lamellaire renferme des ostéocytes ovoïdes, réguliers, dont le grand axe est le plus souvent parallèle aux lamelles.

#### *Structure secondaire*

Le tissu osseux est constitué de la juxtaposition d'unités de base appelées "*ostéons*" centrées sur des vaisseaux sanguins associés à des fibres nerveuses (os haversien) dont la forme dépend du type d'os auxquels elles appartiennent: os cortical ou spongieux. Leur limite externe est constituée par la ligne cémentante un peu plus dense en lumière polarisée. Entre les ostéons, le tissu osseux est appelé os interstitiel qui, chez l'adulte, est le fruit du remodelage d'ostéons anciens.

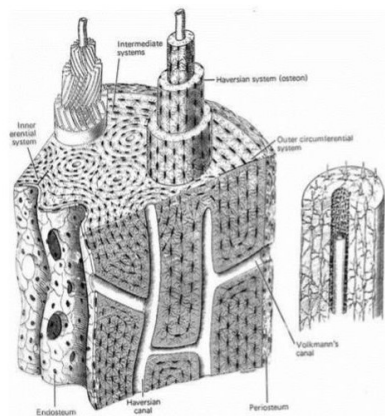
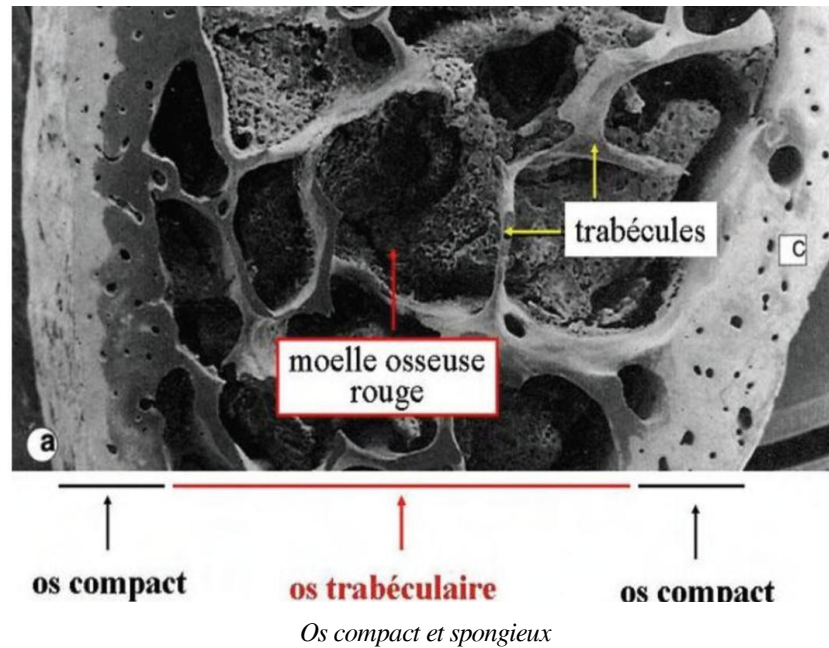


*Structure l'os*

### *Organisation architecturale*

*Os cortical (ou compact)* : Il représente environ 80% du squelette et constitue la paroi externe de toute pièce osseuse ainsi que la diaphyse des os longs. Ses ostéons sont cylindriques (200 à 300  $\mu\text{m}$  de diamètre) et centrés par un canal de Havers plus ou moins ouvert (50  $\mu\text{m}$  de diamètre en moyenne) dont l'orientation est grossièrement parallèle à l'axe de la diaphyse. Ils sont reliés par des canaux transversaux de Volkmann. La résistance de l'os cortical dépend de plusieurs paramètres: extrinsèques (direction et vitesse d'application des contraintes exercées) ou intrinsèques (géométrie de la pièce osseuse et propriétés de la matrice minéralisée).

*Os trabéculaire (ou spongieux)* : Il ne représente que 20% du squelette adulte. Il est constitué de travées en forme de plaques ou de colonnes reliées entre elles et entourées par du tissu adipeux et hématopoïétique richement vascularisé. Les travées forment ainsi un réseau tridimensionnel dont l'orientation est ajustée par les sollicitations mécaniques. L'unité de base est cette fois un héli-ostéon en forme de croissant ouvert sur la moelle. Il représente une surface d'échange considérable avec les liquides interstitiels, avec un renouvellement plus rapide que celui de l'os cortical, jouant ainsi un rôle majeur dans l'équilibre phosphocalcique. Il participe d'autre part à la résistance aux contraintes mécaniques, notamment en compression, des épiphyses et des métaphyses des os longs et des corps vertébraux qu'il compose principalement.

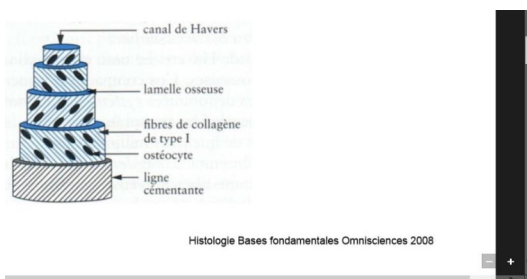


Dans l'os compact (haversien), les ostéons sont centrés par des canaux de Havers :

- dont le diamètre est variable (20  $\mu\text{m}$  à 100  $\mu\text{m}$ )
- parallèles à la cavité médullaire
- contiennent un capillaire sanguin et une fibre nerveuse amyélinique
- sont tapissés par les cellules bordantes

Histologie, Junqueira, Ed. Piccin 2001

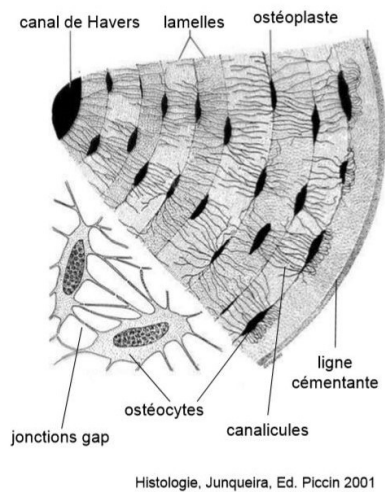
*Tissu osseux haversien*



- dans les lamelles, les fibres de collagènes sont parallèles
- dans les lamelles successives, la direction des fibres se modifie de 90°

cela va aboutir à donner une solidité optimale de l'os avec une certaine flexibilité

*Structure ostéon*



Histologie, Junqueira, Ed. Piccin 2001

structure ostéon sur coupe transversale

les cellules osseuses (ostéocytes enchâssés dans des ostéoplastes) sont disposés entre les lamelles, et communiquent entre elles par des jonctions communicantes

## 2. Composition du tissu osseux

Le tissu osseux est un tissu conjonctif hautement spécialisé composé d'une substance organique minéralisée. Il comprend une matrice osseuse, constituée d'une fraction organique et d'une fraction minérale, qui confère à l'os sa dureté et sa résistance, ainsi que des cellules osseuses des lignées *ostéoblastiques* et *ostéoclastiques*.

*La matrice osseuse* : C'est l'ostéoblaste qui synthétise la matrice osseuse et régule sa minéralisation. La fraction organique de cette matrice est composée de *collagène de type I* auquel est liée la fraction minérale constituée essentiellement de *cristaux d'hydroxyapatite de calcium*.

### *Les fibres de collagène*

*Le collagène* représente 90% de la matrice organique. C'est une glycoprotéine fibreuse, rigide, formant une triple hélice (2 chaînes  $\alpha 1$  et une chaîne  $\alpha 2$ ) d'une longueur de 3000 Å et de 50 Å de diamètre, riche en proline et hydroxyproline. Le déploiement des fibres de collagène dans l'espace extracellulaire s'accompagne d'un arrangement spatial spécifique articulations et du clivage des peptides d'extension au niveau des extrémités amino et carboxy-terminales, ainsi que de la formation de pontages. Les fibres collagéniques ainsi formées sont associées à des protéines non collagéniques secrétées par les ostéoblastes ainsi qu'à des protéines plasmatiques et des facteurs de croissance. Cette matrice nouvellement formée, appelée tissu ostéoïde, est minéralisée dans un second temps.

### *Les protéines non collagéniques (PNC)*

Elles ne constituent que 10% du tissu organique de l'os et 2% du poids total de l'os. On peut schématiquement classer les PNC\* en trois groupes:

- Les PNC osseuses proprement dites, quantitativement les plus importantes, qui font partie intégrante de la matrice osseuse. Certaines sont spécifiques du tissu osseux comme *l'ostéocalcine*, dont la synthèse dépend de la vitamine K. Sa concentration dans le sang circulant est utilisée comme indice de formation osseuse.



- Les protéines plasmatiques, synthétisées dans d'autres organes et qui s'accumulent dans l'os à partir du plasma et des liquides interstitiels. L' $\alpha$ 2-HS glycoprotéine et l'albumine sont les plus abondantes de ces protéines adsorbées par l'os.
- Les facteurs de croissance, dont certains ont pu être isolés dans la matrice osseuse, comme le *TGF-béata* ou certains membres de la famille des Insulin-Like-Growth factors (IGFs).

### *La fraction minérale*

La minéralisation nécessite des concentrations adéquates en minéraux et l'existence de sites de nucléation localisés au niveau de zones particulières des fibres de collagène de type I, permettant la formation *des cristaux d'hydroxyapatite*.

Ils sont formés de petites plaques hexagonales organisées en lamelles sur lesquelles se répartissent les ions  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{PO}_4^{3-}$ .

Parmi les enzymes associées à la différenciation ostéoblastique, la phosphatase alcaline est responsable du clivage des liaisons organophosphates qui libère le phosphate inorganique dans le milieu. Elle participe vraisemblablement au processus de minéralisation.

Elle est localisée dans la membrane plasmique des ostéoblastes et son site actif est accessible à partir de la surface extra-cellulaire.

Cette enzyme est également libérée dans la circulation sanguine et l'augmentation de sa concentration sérique est un marqueur de l'activité ostéoblastique.

Cf. "Composition de l'os"

## 3. Les cellules osseuses

### *Origine*

Les cellules osseuses trouvent leur origine dans la moelle qui produit deux grands groupes de cellules souches:

- *Les cellules souches de la lignée hématopoïétique* qui vont donner les cellules sanguines et immunitaires dont la lignée monocyte-macrophage à l'origine des ostéoclastes.
- *Les cellules souches mésenchymateuses ou stromales* qui sont à l'origine des fibroblastes, des adipocytes, de cellules endothéliales et de la lignée ostéoformatrice (ostéoblastes et chondroblastes).

### *La lignée ostéoclastique*

La lignée ostéoclastique *dérive de précurseurs circulants, apparentés à la lignée monocyttaire*, qui colonisent la moelle osseuse, et *se différencient au contact des cellules stromales préostéoblastiques*.

Les pré-ostéoclastes mononucléés fusionnent pour former des ostéoclastes matures multinucléés. *L'ostéoclaste mature est une cellule géante multinucléée* (100  $\mu\text{m}$  de diamètre en moyenne).

*Ce sont également des cellules très mobiles* pouvant se déplacer d'un site de résorption à un autre..

L'ostéoclaste mature est caractérisé par la présence de *phosphatase acide tartrate résistante* (TRAcP) contenue dans ses nombreux lysosomes, de récepteurs de la calcitonine et par sa capacité à résorber la matrice osseuse minéralisée.

Le pôle basal présente une membrane plissée appelée bordure en brosse au contact de laquelle la matrice est résorbée.

La résorption débute par l'adhérence de l'ostéoclaste sur la travée osseuse avec constitution d'une "poche" hermétique entre membrane plissée et os dans laquelle l'ostéoclaste relargue notamment des ions H<sup>+</sup> grâce à une pompe à protons. Il s'ensuit une dissolution de la phase minérale du tissu osseux, suivie d'une phase de digestion de la matrice collagénique sous l'effet d'enzymes lysosomiales telles que la cathepsine K et les métalloprotéinases matricielles libérées par exocytose.

L'os résorbé laisse peu à peu la place à une lacune de résorption (ou lacune de Howship).

Le pH acide de cette lacune favorise l'activité de ces enzymes. La durée de vie moyenne d'un ostéoclaste humain est de 2 semaines après lesquelles il entre en apoptose.

### *La lignée ostéoblastique*

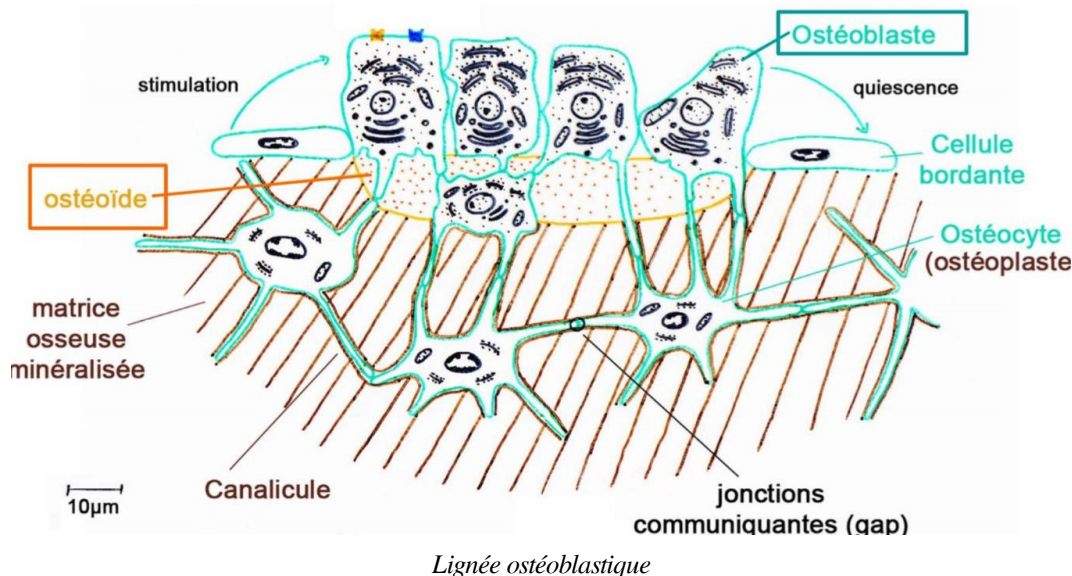
#### *L'ostéoblaste :*

Les ostéoblastes matures sont des cellules cuboïdales mononucléées de 20 µm de diamètre, alignées et attachées sur la matrice osseuse et caractérisées par une activité phosphatase alcaline importante. *Leur fonction principale est de synthétiser la matrice (ou tissu ostéoïde) et de participer à sa minéralisation.* Au fur et à mesure que la matrice est synthétisée et minéralisée, les ostéoblastes deviennent moins actifs et s'aplatissent. *Certains ostéoblastes s'incorporent à l'ostéoïde et deviennent des ostéocytes. D'autres deviennent des cellules bordantes.*

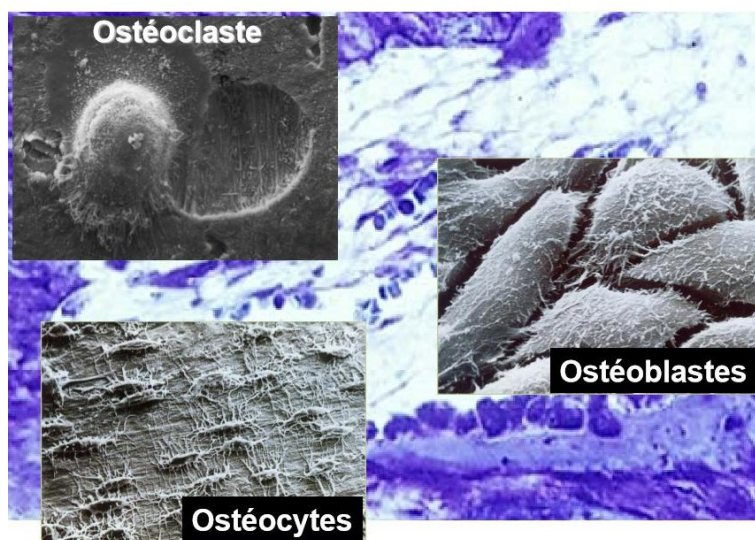
Ce réseau permet de relier les ostéocytes entre eux et aux cellules de la surface (ostéoblastes et cellules bordantes), assurant ainsi la transmission de diverses informations chimiques (ions, hormones) et mécaniques (mouvement de fluides, déformations, gravité) par le biais de jonctions communicantes intercellulaires. De ce fait, les ostéocytes sont de bons candidats au rôle de "mécanosenseur". Ces cellules sont également capables de synthétiser certaines molécules notamment en réponse à un stimulus mécanique et de jouer un rôle dans les échanges calciques entre le tissu osseux et le sang. Enfin, les ostéocytes expriment spécifiquement la sclérostine, puissant agent inhibiteur de la formation osseuse ainsi que différentes protéines matricielle.

#### *Les cellules bordantes :*

Les cellules bordantes sont *des ostéoblastes devenus progressivement aplatis* pour former une couche cellulaire attachée et alignée le long de surfaces osseuses dites inactives. Différents rôles leur sont attribués. Unies entre elles et aux ostéocytes, elles pourraient ainsi participer au réseau de communications inter-cellulaires. Elles pourraient également constituer une barrière fonctionnelle entre la moelle osseuse et l'os calcifié. Les cellules bordantes seraient également une source de cellules ostéoblastiques de réserve capables de se transformer en cellules ostéogéniques sous l'action de certains stimuli comme la PTH. Enfin, elles pourraient jouer un rôle déterminant dans la modulation de l'activité ostéoclastique en libérant lors de l'activation d'un cycle de remodelage des substances chimiotactiques reconnues par les précurseurs ostéoclastiques.



## Os et cellules osseuses

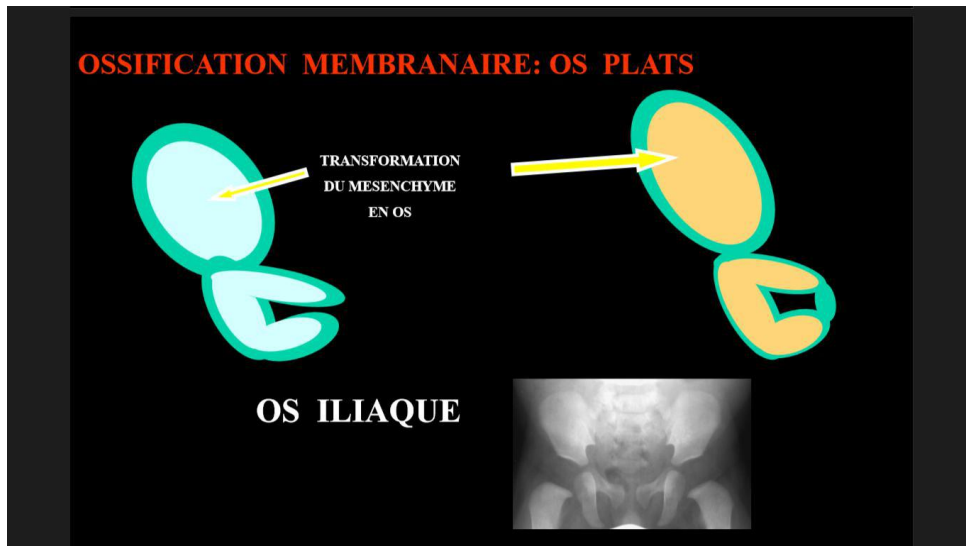


les cellules osseuses

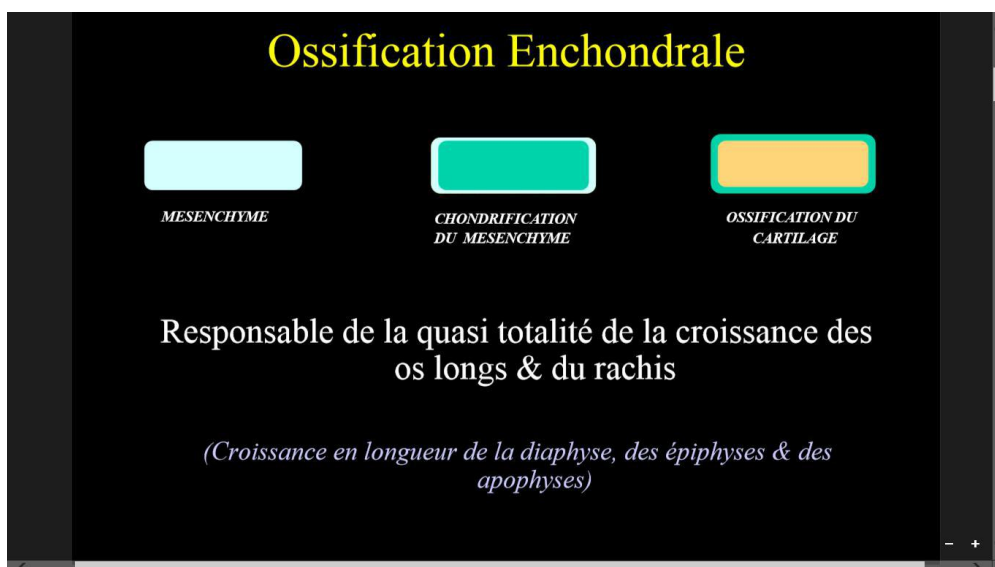
### 4. Croissance osseuse

Il existe 2 types d'ossification osseuse :

- Ossification membranaire : les cellules mésenchymateuses se différencient directement en ostéoblastes (surtout lieu dans la calotte crânienne (os frontal, pariétal, parties de l'os temporal, de la mandibule et de la maxille) et dans la clavicule et certains os plats  
Remarque : pas de formation d'os à partir d'une assise cartilagineuse
- Ossification enchondrale : Durant l'ossification enchondrale, l'os est formé à partir de cartilage préformé. Cette sorte d'ostéogénèse concerne les os des extrémités, les os longs, le bassin et la colonne vertébrale. A la différence de l'ossification membranaire, l'os est formé par remplacement du cartilage minéralisé.



*Ossification membranaire*



### *Croissance des os longs*

- Tout commence à la diaphyse
- Tout se produit aux extrémités

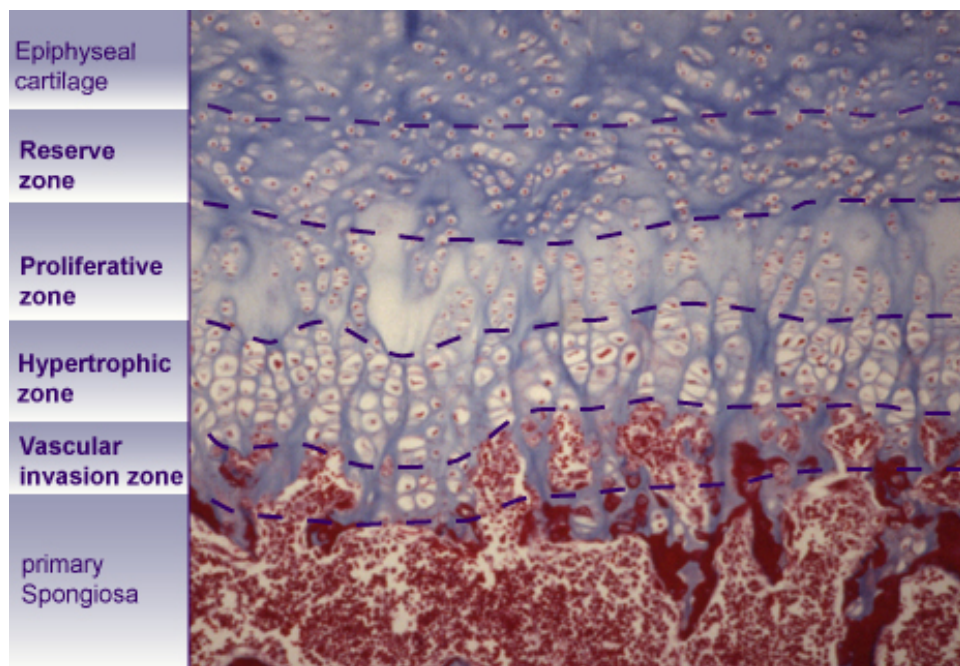
A la naissance, la croissance en largeur et en longueur de l'os n'est pas encore terminée. Un espace cartilagineux, la plaque de croissance épiphysaire se trouve entre les épiphyses, recouvertes de cartilage articulaire, et la diaphyse de l'os. La croissance en longueur part de cette zone vers la partie terminale de l'os. C'est pourquoi on l'appelle aussi la plaque de croissance épiphysaire. La diaphyse et l'épiphysaire deviendront ainsi plus longues et plus fortes avec l'âge. La plaque de croissance épiphysaire s'ossifie vers 20 ans. La croissance en longueur se termine avec la fermeture (ou soudure) de la plaque de croissance épiphysaire.

### *Croissance en longueur de l'os :*

La plaque de croissance épiphysaire, lieu de croissance en longueur de l'os, se compose de 4 zones parfaitement distinctes:

- Zone de cartilage hyalin (zone de réserve): Les cellules précurseurs des chondrocytes (cellules souches) forment une réserve et ravitaillent les différentes zones citées ci-dessous.
- Zone de cartilage sérié: Dans cette zone, les chondrocytes sont plus nombreux. Des groupes isogènes de cellules s'ordonnent longitudinalement et construisent avec la matrice territoriale un chondrone ordonné en forme de colonne. Ceci est décisif pour la croissance en longueur de l'os.
- Zone de cartilage hypertrophié: Dans la zone de minéralisation, les chondrocytes subissent une augmentation de volume due à un apport en eau. Ceci contribue aussi à la croissance en longueur de l'os. Ils produisent du collagène de type X et ils amènent les septa longitudinaux à se minéraliser. Ils produisent aussi le facteur VEGF (vascular endothelial growth factor), qui stimule les vaisseaux de la zone d'érosion du cartilage à produire une avancée migratoire (vasculogénèse).
- Zone de cartilage érodé: Dans cette zone, les septa transversaux situés entre les chondrocytes hypertrophiés sont détruits. Les facteurs suivants sont responsables:
  - 1) Les chondrocytes (production de protéines lytiques, MMP\*, et de VEGF\* pour attirer de nouveaux vaisseaux).
  - 2) Les macrophages des vaisseaux sanguins (chondroclastes).

La zone de cartilage sérié, active mitotiquement, s'éloigne constamment de la zone de cartilage érodé, ce qui apporte à la croissance en longueur de l'os (croissance interstitielle du cartilage). Durant la puberté chez les deux sexes, cette croissance est ralentie par une hausse de la concentration d'oestrogène et s'arrête.



*Cartilage de croissance*





# Abréviations



**GAG** : Glycoaminoglycane

**MMP** : métalloprotéases matricielles

**PNC** : protéines non collagéniques

**VEGF** : vasculavascular endothelial growth factor = facteur angiogénique = favorise la formation de nouveaux vaisseaux sanguins



