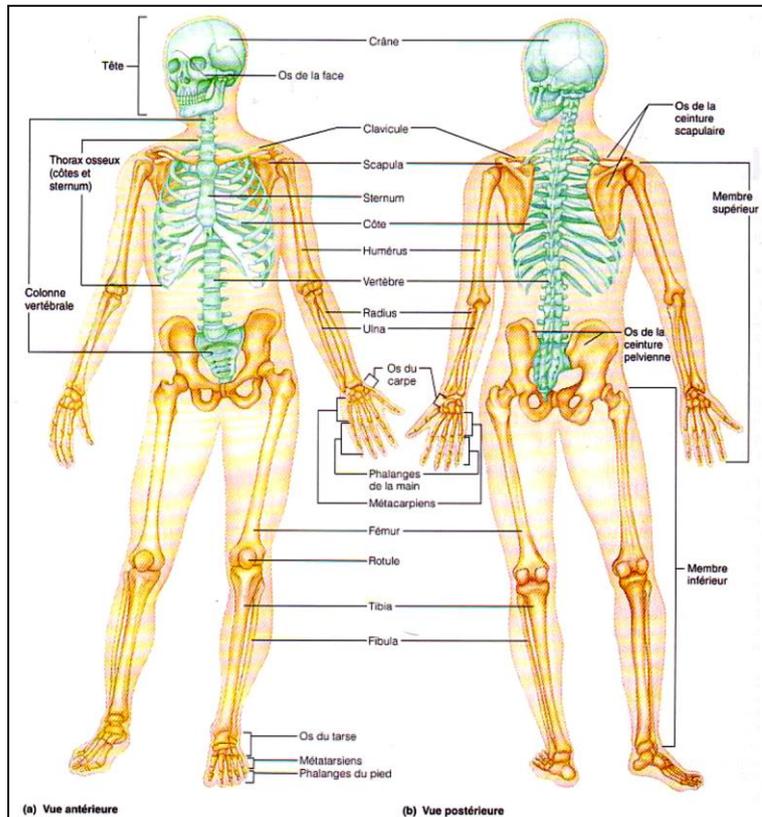


TISSU OSSEUX



MOTS CLES

Ostéoïde
Hydroxyapatite
Ostéoblaste
Ostéocyte
Ostéoplaste
Ostéoclaste
Tissu osseux primitif
Tissu oss. lamellaire
Tissu oss. compact
Tissu oss. spongieux
Ostéone
Canal de Havers
Canaux de Volkmann
Périoste
Endoste

I. DEFINITION

Le tissu osseux, comme le cartilage, est un tissu conjonctif **spécialisé** ou **squelettique**.
Il comporte :

- ✓ une matrice extra-cellulaire (MEC) **minéralisée** qui confère au tissu osseux sa rigidité et sa solidité (substance fondamentale, des fibres)
- ✓ des **cellules osseuses** (cellules bordantes, ostéoblastes, ostéocytes, ostéoclastes)
- ✓ parcouru par un très riche réseau vasculaire

Il joue plusieurs fonctions :

a) Fonction mécanique:

Donnant à l'os son rôle

- de soutien du corps : il constitue la charpente du corps
- de protection des organes vitaux (SNC, cœur).
- dans la locomotion

b) Fonction métabolique:

Libération et stockage des sels minéraux ainsi que le contrôle du métabolisme phosphocalcique (Régulation de la calcémie)

c) Fonction Hématopoïétique:

Les os renferment dans leur espace médullaire de la moelle hématopoïétique dite hématogène dont les cellules souches sont à l'origine des 3 lignées de globules du sang, ainsi que les cellules multipotentes.

II. ORGANISATION GENERALE

Le tissu osseux est fait de cellules osseuses noyées dans une matrice osseuse.

A- Matrice osseuse

Elle est constituée d'une partie organique (25%), d'une partie minérale (70%) et de l'eau (5%) (le tissu le moins hydratée de l'organisme).

1) Partie organique

Egalement appelée **ostéoïde** avant sa minéralisation, la matrice organique est faite de :

- **collagène** (essentiellement **de type I**) : très abondant 90 à 95% de la fonction organique, souvent de type I.
- **substance fondamentale** :
 - **glycoprotéines non collagènes** spécifiques de l'os (10%) dont :
 - ✓ *l'ostéonectine* : c'est la plus abondante. lié au collagène et aux sels minéraux (cristaux d'hydroxyapatite). Elle sert de colle entre les parties minérales et les parties organiques.
 - ✓ *l'ostéocalcine* : elle intervient dans la minéralisation osseuse (marqueur des ostéoblastes matures).
 - ✓ *l'ostéopontine* : relie l'hydroxy-apatite aux cellules osseuses.
 - **protéoglycanes** : ils sont présents dans l'ostéoïde mais rares. (avec des GAG de type chondroïtine sulfate et kératine sulfate)
- eau et électrolytes.

2) Partie minérale

La matrice minérale est responsable de la rigidité de l'os, les minéraux se fixent sur la trame protéique de l'ostéoïde. Les minéraux les plus importants sont :

- le **calcium** : le squelette contient 99% du calcium de l'organisme (1100 à 1200g);
- le **phosphore** : le squelette contient 90% du phosphore total de l'organisme (environ 600g);
- le **sodium** : 18g pour un squelette d'adulte
- le **Potassium** : 6g.
- le **Magnésium** : 3g.

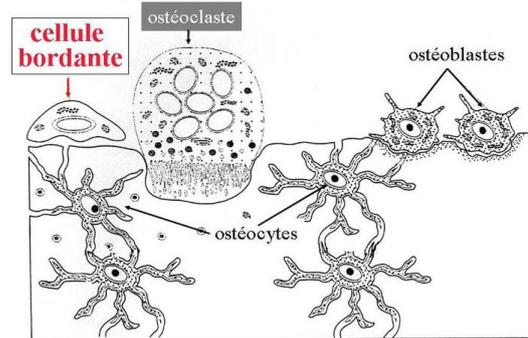
La matrice organique se minéralise par des dépôts de phosphate et de calcium cristallisés, formant des **cristaux d'hydroxyapatite** (apatite hydratée) $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, ils ont une forme hexagonale allongée mesurant 50 nm d'épaisseur, la surface du cristal est fortement ionisée et liée à l'eau de la matrice avoisinante, dont les ions phosphate et calcium sont facilement mobilisable pour être remis en circulation.

Remarque : La substance fondamentale contient des quantités significatives d'ions citrate ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{-3}$)

B- Cellules osseuses

Le tissu osseux adulte apparaît formé des cellules suivantes :

- cellules bordantes (ostéoblastes quiescent)
- ostéoblastes
- ostéocytes
- ostéoclastes.



Origine embryologique :

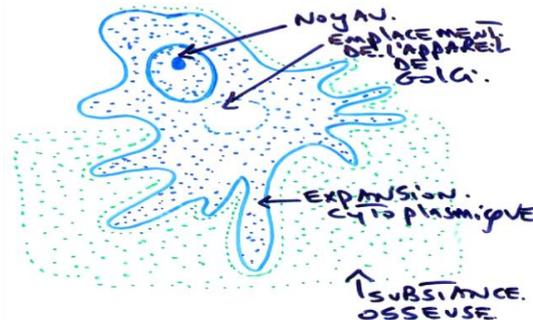
- Les cellules ostéoformatrices qui sont responsables de la synthèse de la matrice extra cellulaire de l'os (cellules bordantes, ostéoblastes et ostéocytes) dérivent des cellules **souches mésenchymateuses pluripotentes**
- Les ostéoclastes dérivent de la **lignée hématopoïétique monocyttaire** CFU-M (lignée sanguine monocyttaire)

1) Ostéoblastes

a. Aspect au microscope optique

Ce sont des cellules polyédriques ; prismatiques munies de nombreuses et longues expansions cytoplasmiques recouvrant la surface externe et interne de l'os, de 20 à 30 microns, possèdent :

- un noyau arrondi le plus souvent excentré pourvu d'un gros nucléole;
- un cytoplasme basophile riche en ARN, glycogène, vitamine C, phosphatases.

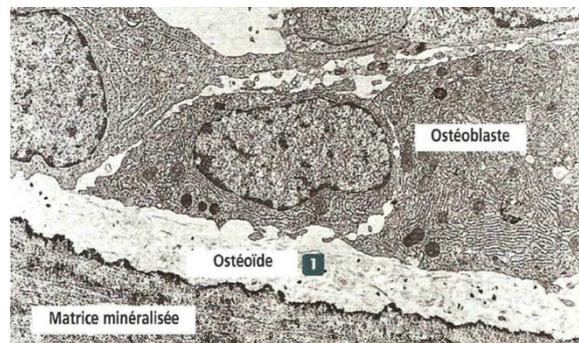


Les ostéoblastes sont **situés à la surface interne et externe** de l'os. La face de l'ostéoblaste appliquée à la surface osseuse comporte des **prolongements cytoplasmiques** qui s'enfoncent dans la matrice osseuse.

b. Aspect au microscope électronique

Elles présentent un aspect caractéristique de cellules activement engagées dans la synthèse de protéines. On observe :

- un ergastoplasme très développé, avec des ribosomes libres
- un appareil de Golgi très important;
- des mitochondries ovoïdes nombreuses riches en granules de phosphates calciques (elles sont capables de stocker de grandes quantités de calcium et de phosphate)
- Vacuoles dont le contenu est amorphe : muco- polysaccharides
- Inclusions lipidiques
- Lysosomes



Les ostéoblastes sont unis par des jonctions de type gap et sont séparés de la matrice osseuse par une substance amorphe non encore calcifiée.

c. Cytophysiologie

Les ostéoblastes interviennent dans l'élaboration de la matrice organique et sa minéralisation. Il a été décrit la présence de récepteurs à la surface des ostéoblastes pour certaines hormones, vitamines et cytokines qui régulent leurs activités.

Une fois l'ostéoblaste complètement enfoui dans la matrice minéralisée, il devient un ostéocyte emprisonné dans des lacunes au sein de la substance nouvellement synthétisée (ostéoplastes)

2) Cellules bordantes : ou ostéoblastes au repos

Elles sont aplaties, allongées, possédant peu d'organites, reliées entre elles et avec les ostéocytes voisins. Les cellules bordantes peuvent, lorsqu'elles sont sollicitées, de redevenir des ostéoblastes actifs.

3) Ostéocytes

a. Aspect au microscope optique

Ce sont des cellules fusiformes et étoilées (d'une taille de 15 µm) contenues dans des logettes appelées **ostéoplastes**. ces lacunes sont reliées par de nombreux prolongements contenus dans des **canalicules (interostéoplastiques)**

Entre la paroi de l'ostéoplaste et l'ostéocyte, existe une un mince **espace périostéocytaire** non minéralisé, où on retrouve des fibres de collagènes et une forte concentration de protéoglycanes.

Ces cellules renferment :

- un noyau aplati à chromatine homogène;
- un cytoplasme peu abondant, légèrement acidophile car les organites intra-cellulaires sont moins développés que dans l'ostéoblaste.

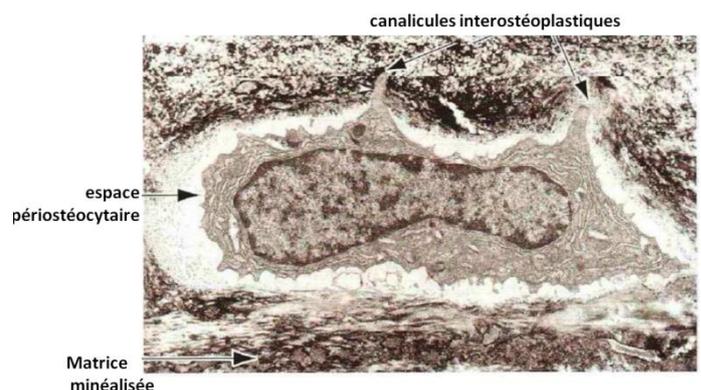
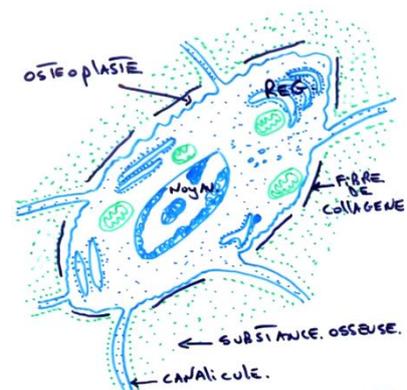
b. Aspect au microscope électronique

Elles possèdent :

- un noyau ayant l'ultrastructure habituelle avec une membrane aux pores bien visibles;
- un cytoplasme limité par une membrane plasmique régulière;
- des mitochondries peu nombreuses (petites et arrondies);
- un ergastoplasme assez abondant
- Le glycogène et les inclusions lipidiques sont rares.

c. Cytophysiologie

- Les ostéocytes sont capables de mobiliser le phosphate de calcium sur la surface de la lacune, ceci représente une quantité importante de sels minéraux rapidement échangeables.
- L'ostéocyte est une cellule métaboliquement active, mais les échanges nutritifs par les canalicules restent néanmoins difficiles.
- L'ostéocyte n'a pas la capacité de se diviser, d'autant que la rigidité et l'imperméabilité de la matrice extracellulaire s'y opposent.
- Elle joue un rôle dans le renouvellement et l'entretien de la matrice osseuse.



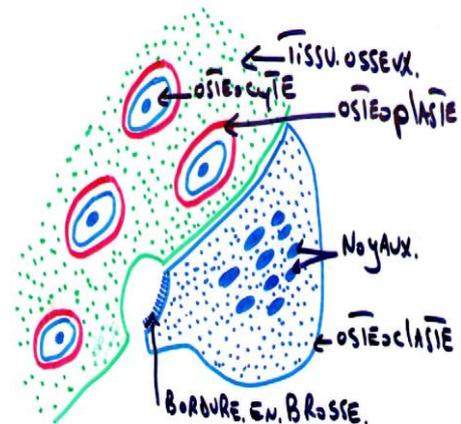
4) Ostéoclastes

Tout au long de la vie adulte, l'os subit un processus continu de remodelage interne et de renouvellement qui comprend l'élimination de la substance fondamentale et son remplacement par l'os récemment déposé.

Dans ce processus les agents de résorption osseuse sont les ostéoclastes, occupant des cavités superficielles sur la surface osseuse, appelées lacune de Howship (issues de la dégradation de l'os par des enzymes sécrétées par les ostéoclastes de l'os sous-jacent).

a. Microscopie optique

- Ce sont des cellules osseuses géantes de 50 à 100 µm,
- sont plurinucléés (renfermant 30 à 50 noyaux);
- comportent un cytoplasme acidophile, bourré de granules et de vacuoles;
- de la famille des macrophages, capables de détruire la matrice minéralisée.
- Localisée à la surface de l'os.
- disposées à la surface des travées osseuses en voie de résorption.
- sont hautement mobiles capables de se déplacer à la surface des travées osseuses d'un site de résorption à un autre.



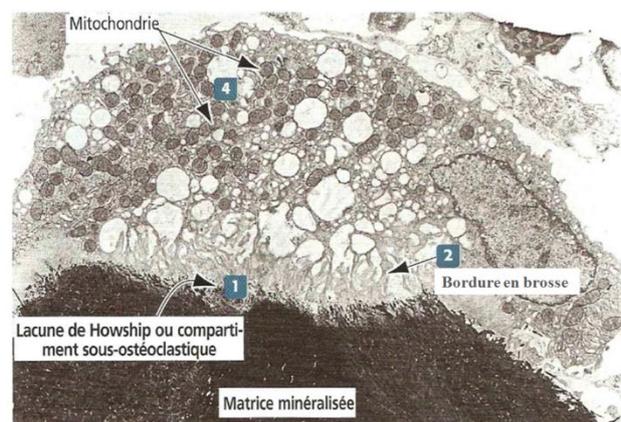
b. Microscopie électronique

Au contact de l'os, la surface cellulaire présente une bordure en brosse, ce sont de longues expansions irrégulières se terminant au contact de lysosomes et de vacuoles de sécrétion. A ce niveau, des pompes à protons relarguent des ions H⁺ dans le milieu extracellulaire, solubilisant ainsi les cristaux minéraux.

La bordure en brosse occupe une surface limitée, mais un ostéoclaste peut en posséder plusieurs.

Elle révèle :

- un noyau à double membrane, irrégulier;
- un cytoplasme avec de nombreuses mitochondries (riche en crêtes), peu de réticulum endoplasmique granuleux, quelques agrégats de ribosomes ainsi que des lysosomes (+++)



c. Cytophysiole

L'ostéoclaste sécréterait des **acides faibles** (acides lactiques, acide citrique), solubilisant les cristaux minéraux (sels de calcium) dans le milieu extracellulaire. Le collagène est digéré dans les vacuoles cellulaires par **une collagénase**.

L'ostéoclaste est une cellule d'origine hématopoïétique dérivant des cellules monocytaires, assurant les fonctions suivantes :
* La déminéralisation du tissu osseux.
* La dégradation de la trame organique.

Le déficit en ostéoclastes est responsable de l'ostéoporose congénitale, actuellement curable par greffe de moelle.

III. Variétés de tissu osseux

A- Tissu osseux lamellaire et non lamellaire

Cette distinction dépend de l'**existence ou non d'une orientation des fibres de collagène** au sein de la matrice organique de l'os.

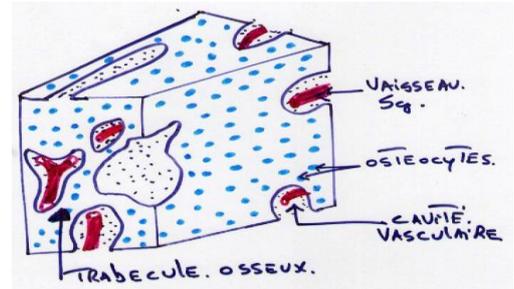
1) Tissu osseux non lamellaire

C'est le **tissu osseux primitif** ou immature qui vient de se former à partir du tissu conjonctif ou du cartilage.

Il se caractérise par l'absence d'organisation de la matrice organique.

Le tissu osseux non lamellaire est retrouvé chez le fœtus, le jeune enfant.

Chez l'adulte, il n'est observé que dans deux situations : en cas de fracture ou au cours de certaines maladies.



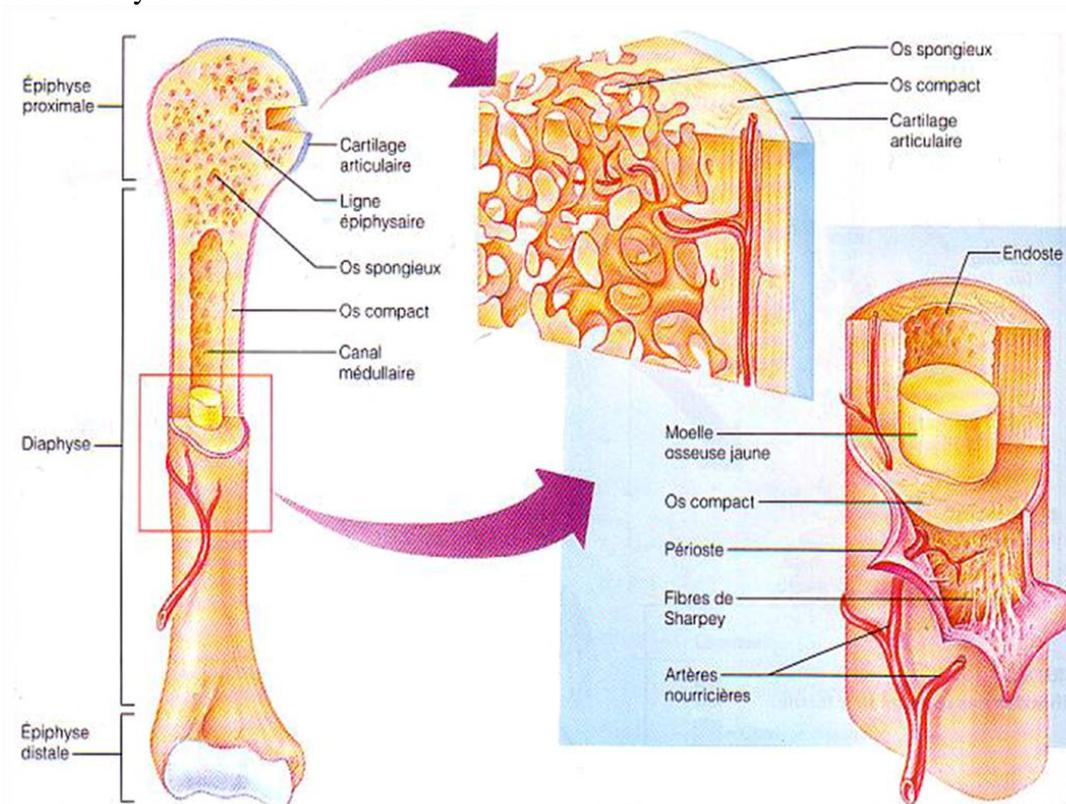
Remarque : le tissu osseux primitif qui se forme à partir

- du modèle conjonctif permettra la formation d'un os plat ou court
- d'un modèle cartilagineux permettra la formation d'un os long

2) Tissu osseux lamellaire

C'est le **tissu osseux secondaire** ou mature ou définitif (celui retrouvé chez l'adulte). Il se forme toujours à partir du tissu osseux non lamellaire et se caractérise par une matrice osseuse disposée en lamelles superposées ou concentriques lui conférant une grande résistance mécanique avec :

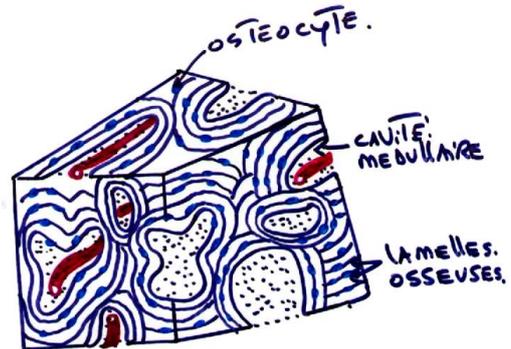
- des **fibres collagènes orientées dans une direction unique** qui varie d'une lamelle à l'autre;
- des ostéocytes situées entre les lamelles.



a) Tissu osseux spongieux (Os aréolaire)

Il est constitué par un lacis (réseau) tridimensionnel de spicules et de trabécules de tissu osseux :

- ramifié et anastomosé;
- délimitant des espaces intercommunicants occupés par la moelle osseuse hématopoïétique (multiples cavités médullaires) ainsi que par des vaisseaux : cavités conjonctivovasculaires.



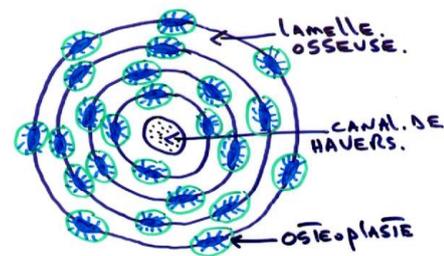
En fait, le tissu osseux spongieux diffère du tissu osseux compact par la taille et le nombre de ces cavités. Les lamelles osseuses sont organisées, dans ce cas, autour des cavités et sont disposées irrégulièrement.

Exemple de tissu osseux spongieux : Intérieur des épiphyses des os longs, Diploé de la voûte du crâne.

b) Tissu osseux compact (Os compact)

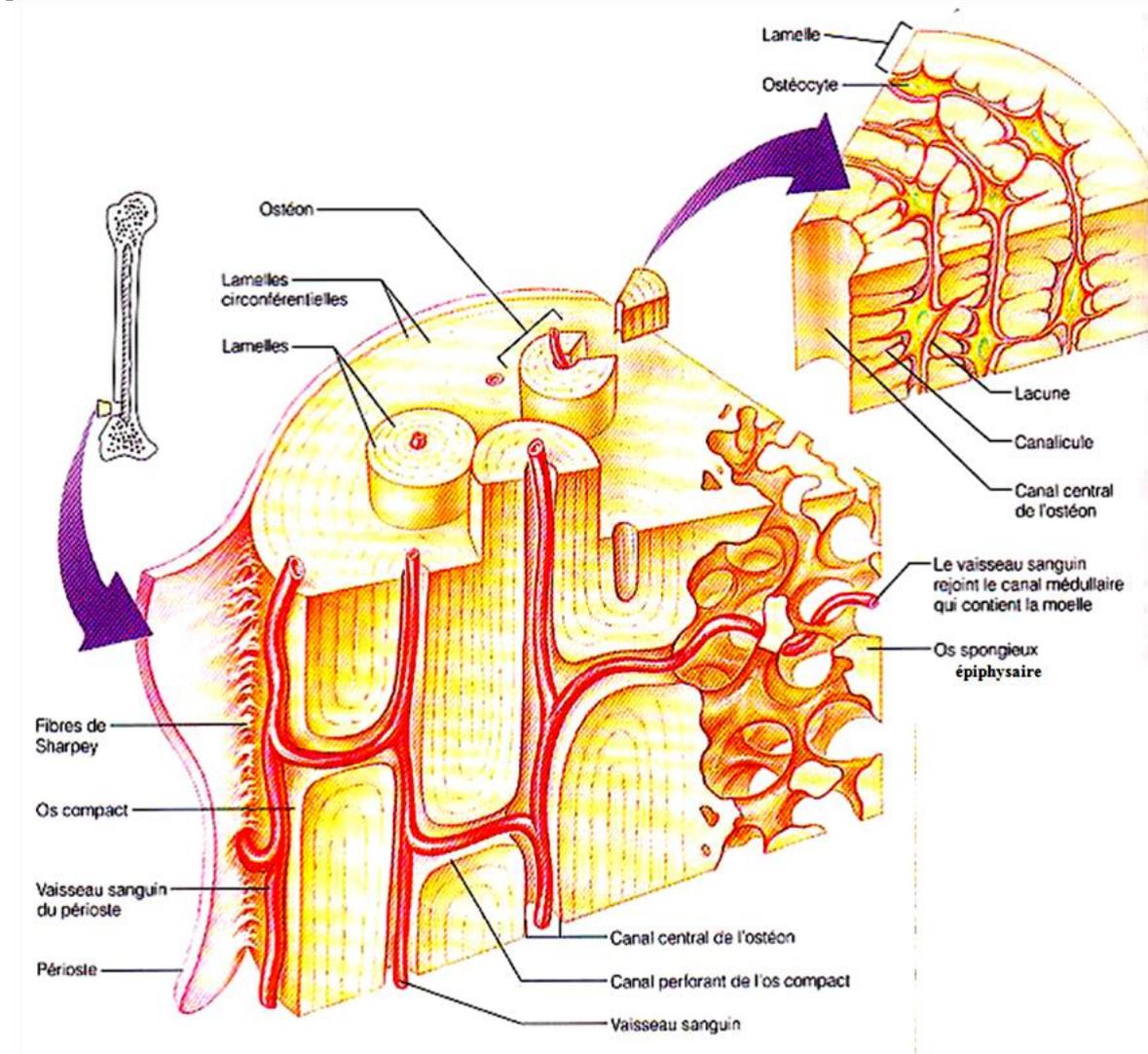
Formant la diaphyse des os longs surtout (*Fémur, Humérus*), le tissu osseux compact est une masse pleine de tissu osseux qui contient :

- un assemblage de formations cylindriques appelées **ostéones** (ou **systèmes de Havers**), disposées parallèlement entre elles, en suivant la direction de la diaphyse. Chaque ostéone est constitué de 4 à 6 lamelles osseuses, emboîtées et disposées autour d'un canal vide : le **canal de Havers**;
- des systèmes interstitiels entre les ostéones correspondant à des ostéones partiellement résorbés (du fait des remaniements osseux);
- un système circonférentiel externe : bordant extérieurement la diaphyse des os longs;
- un système circonférentiel interne : bordant intérieurement la diaphyse des os longs.



Les deux systèmes circonférentiels sont formés d'os lamellaire (c'est-à-dire de plusieurs ostéones contigus).

Les canaux de Havers (canal central) contiennent des vaisseaux et des nerfs amyéliniques (le tissu osseux est donc un tissu vascularisé et innervé, ce qui explique la douleur ressentie lors d'un choc ou d'une fracture). Ils sont en rapport avec la cavité médullaire et l'extérieur de l'os par des anastomoses obliques : les **canaux de Volkmann** (canal perforant).

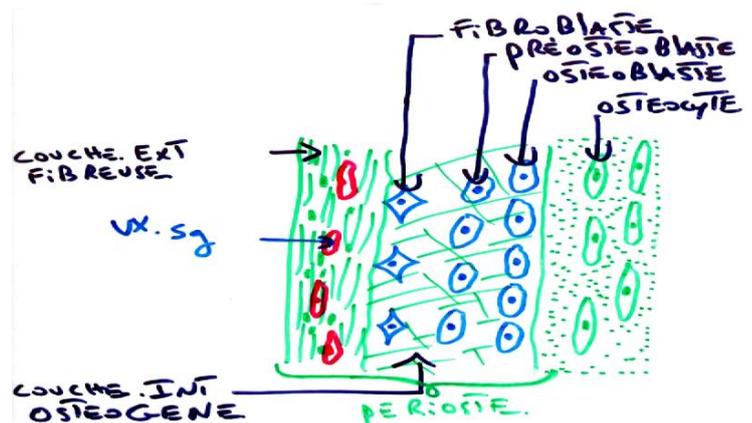


Le Périoste

C'est un tissu conjonctif qui revêt la surface externe de tous les os sauf au niveau des cartilages articulaires (des épiphyses).

Le périoste comporte deux couches :

- une couche interne : en contact avec l'os. A ce niveau, des cellules mésenchymateuses ostéogènes peuvent donner des ostéoblastes (assurant la régénération de l'os en cas de fracture).
- Une couche externe : riche en fibres de collagène d'encrage (fibres de sharpey) et très vascularisée.

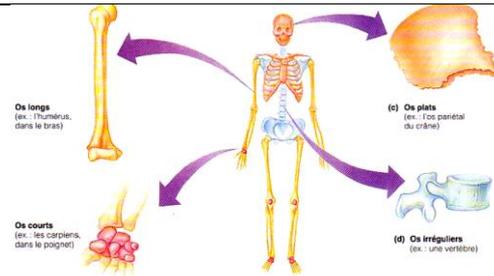


L'Endoste

C'est un tissu conjonctif tapissant toutes les parois des cavités vascularisées des os (canaux de Havers, canaux de Volkmann, cavité médullaire de l'os compact, cavités de l'os spongieux).

IV. Différents types d'os

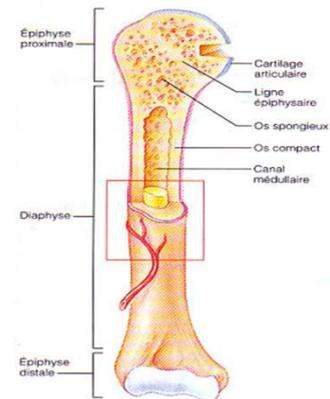
Ces différents types de tissu osseux se combinent de façons diverses pour former une entité anatomique : l'os. Selon sa forme, celui-ci appartiendra à l'une des catégories suivantes :



A) os long: Ex : fémur, humérus , tibia

Comme le Fémur (le fut)

- la **diaphyse** est constituée d'os compact formant un cylindre creux dont l'espace central est appelé : **cavité médullaire**
- Les extrémités appelées **épiphyses**, sont formées d'os spongieux recouvert par une fine coque d'os compact. Pendant la croissance les épiphyses sont séparées de la diaphyse par une plaque épiphysaire cartilagineuse : cartilage de conjugaison.
- Une région intermédiaire effilée, appelée **métaphyse** relie l'épiphyse à la diaphyse.



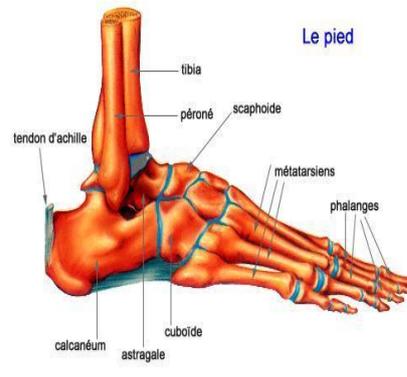
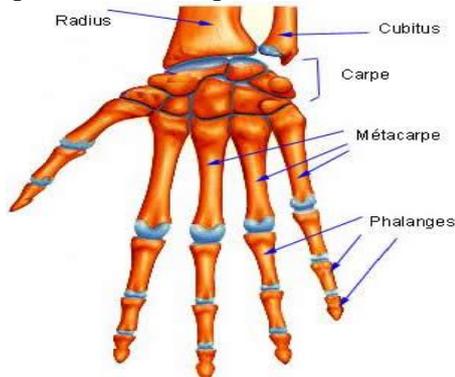
Les surfaces articulaires situées aux extrémités des os longs sont recouvertes de cartilage hyalin appelé cartilage articulaire.

B-os courts: (carpe, tarse)

Comme les carpes et les torses,

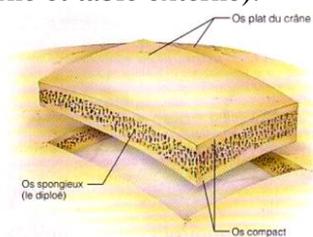
- ne possèdent pas de grand axe

- constitue une masse de tissu osseux spongieux contenant de la moelle osseuse limitée en périphérie par de l'os compact.



C- os plats (ex : sternum)

Comme l'omoplate, le sternum, la clavicule, leurs **centre** est constitué par de l'os spongieux (diploé) contenant de la moelle osseuse et il est limité en **périphérie** par l'os compact (table interne et table externe).



diploé des os du crâne



sternum

V. Histophysiologie de l'os :

1) Homéostasie du calcium :

En plus de sa fonction et de protection, l'os est une réserve mobilisable de calcium.

Les ions calcium sont essentiels à :

- L'activité de nombreuses enzymes.
- Le maintien de la cohésion cellulaire
- La régulation de la perméabilité membranaire
- La coagulation du sang
- La contraction des muscles lisses et striés
- De nombreuses autres fonctions vitales

Les mécanismes d'homéostasie ont été mis en place afin de maintenir la concentration du calcium plasmatique constante, comprise entre 9 et 11 mg par 100ml.

2) Effets des hormones sur la croissance osseuse :

• hormone de croissance

Une carence pendant l'enfance en somatotrophine (hormone de croissance) provoque un **nanisme**.

Un excès d'hormone de croissance entraînera le **gigantisme** chez l'enfant et l'**acromégalie** chez l'adulte (épaississement inesthétique de l'os de la face).

• Les hormones sexuelles :

L'œstrogène induit la fusion des épiphyses. En cas de développement sexuel précoce, la maturation squelettique est accélérée et la croissance arrêtée.

• Les hormones thyroïdiennes :

Une diminution de la calcémie entraîne une augmentation des taux d'hormones **parathyroïdiennes** qui vont agir sur les ostéoblastes en inhibant le dépôt d'os, et la sécrétion de facteurs stimulants les ostéoclastes qui vont entraîner résorption osseuse et la libération du calcium.

La **calcitonine** sécrétée par la thyroïde possède un effet opposé de celui de l'hormone parathyroïdienne, elle inhibe la résorption osseuse.

3) Effets nutritionnels :

Une **carence en calcium** entraîne une raréfaction osseuse et une augmentation du risque de fractures.

Une **carence en vitamine D** chez l'enfant entraîne un rachitisme.

La vitamine C est essentielle à la synthèse du collagène, la **carence en vitamine C** entraîne un ralentissement de la consolidation osseuse.