

Le tissu osseux

Le tissu osseux est le principal composant du squelette d'un adulte, il supporte les parties molles et protège les organes vitaux comme ceux du crâne et de la cavité thoracique, il héberge la moelle osseuse où les cellules du sang sont formées. L'os sert aussi de réservoir de calcium, de phosphate et d'autres ions.

L'os est un tissu conjonctif spécialisé d'origine mésenchymateuse dont la matrice extracellulaire s'imprègne de sels de calcium. L'os, structure solide et dure, est élément constitutif de la charpente du corps, le squelette. Malgré son apparence inerte, le tissu osseux est en perpétuellement remaniement.

Le métabolisme osseux est donc plus considérable que le métabolisme du cartilage. Il est facilité par une très riche vascularisation qui pénètre jusque dans les zones les plus profondes de l'architecture osseuse. Il existe plusieurs types d'os. Il existe également différentes modalités d'ossification.

1-Architecture générale des os

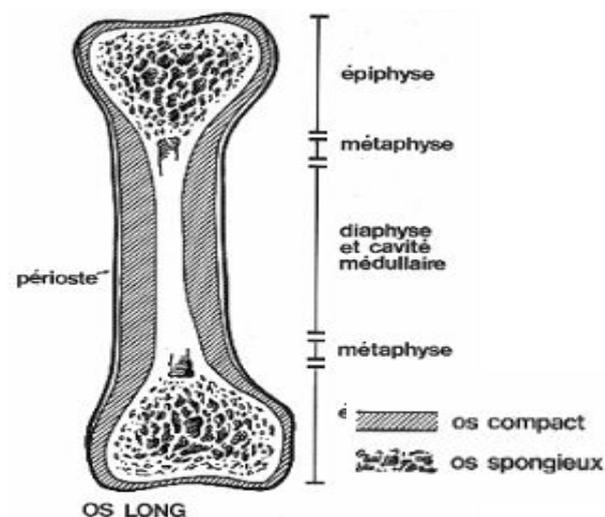
Presque tous les os de l'organisme peuvent être classés en quatre types principaux selon leur forme

- les os longs,
- les os courts,
- les os plats
- les os irréguliers.

1-1-Les os longs

Un os long comprend trois parties

- **Les épiphyses** : ce sont les deux extrémités. Elles sont constituées d'os spongieux ou trabéculaire.
- **La diaphyse** : est la partie médiane des os longs. C'est un cylindre creux d'os compact à orientation longitudinale. La cavité centrale, ou cavité médullaire, renferme la moelle osseuse.



- **Les métaphyses** : ce sont des segments coniques situés entre les épiphyses et la diaphyse. Les os longs sont constitués surtout de tissu osseux compact, mais ils contiennent aussi une quantité importante de tissu osseux spongieux

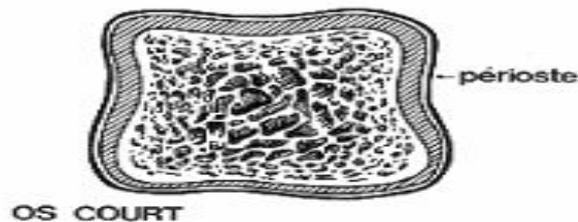
Exemple : les os de la cuisse (**fémur**), de la jambe (**tibia et péroné**), des orteils (**phalanges**), du bras (**humérus**), de l'avant-bras (**radius et cubitus**) et des doigts (**phalanges**).

1-2- Les os courts

Ils ont une forme presque cubique et leur longueur est presque égale à leur largeur.

Ils sont faits d'os spongieux, exception faite de la surface qui est recouverte d'une mince couche d'os compact.

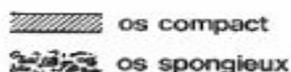
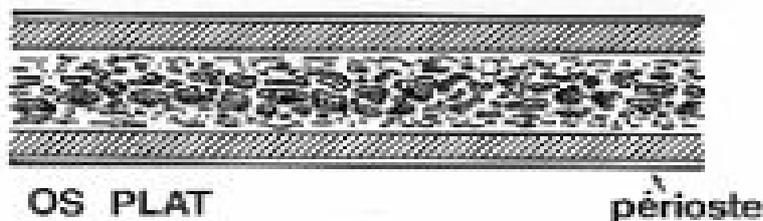
Exemple: les os des poignets (**carpiens**) et des chevilles (**tarsiens**).



1-3- Les os plats

Ils sont habituellement minces et se composent de deux lames d'os compact plus ou moins parallèles qui renferment une couche d'os spongieux.

Exemple: les **os crâniens** qui protègent l'encéphale, le **sternum** et les **côtes** qui protègent les organes de la cavité thoracique, et les **omoplates**.



1-4-Les os irréguliers

- Sont exclus des trois catégories mentionnées ci-dessus, car ils présentent des formes complexes.
- Ils diffèrent également quant à la proportion d'os spongieux et d'os compact qu'ils contiennent.
- **Exemple:** les vertèbres, le pelvis et certains os de la face.

2- Structure générale des tissus osseux

L'aspect architectural des tissus osseux est très différent d'un type à l'autre.

2-1- Tissu osseux réticulaire (non lamellaire)

Il est de type fibreux, souvent appelé os immature. Il est mécaniquement faible. Les cellules de ce tissu sont nombreuses et disposées sans ordre. La matrice est peu minéralisée, contient des faisceaux de fibres de collagène à disposition aléatoire. Ce type de tissu osseux existe au cours de développement. Il a généralement une durée de vie courte car il est destiné à être remplacé assez rapidement par un tissu osseux lamellaire. Il est élaboré à partir de cartilage ou de tissu conjonctif.

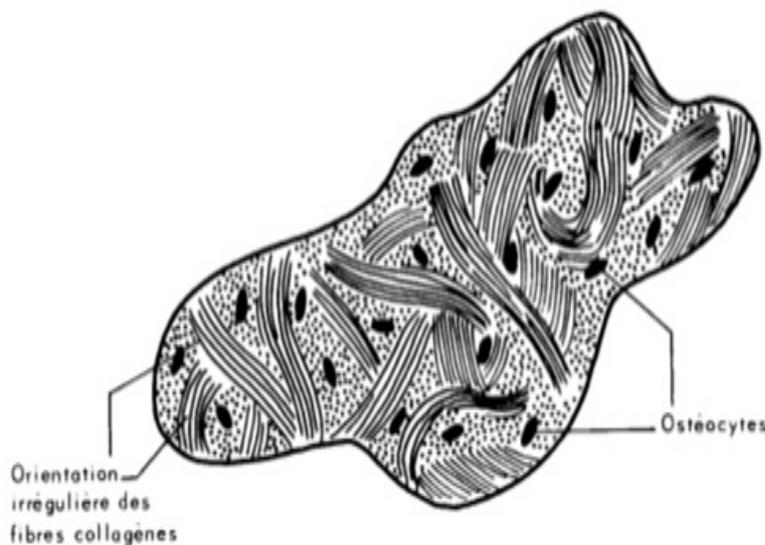


Schéma de la structure du tissu osseux non-lamellaire

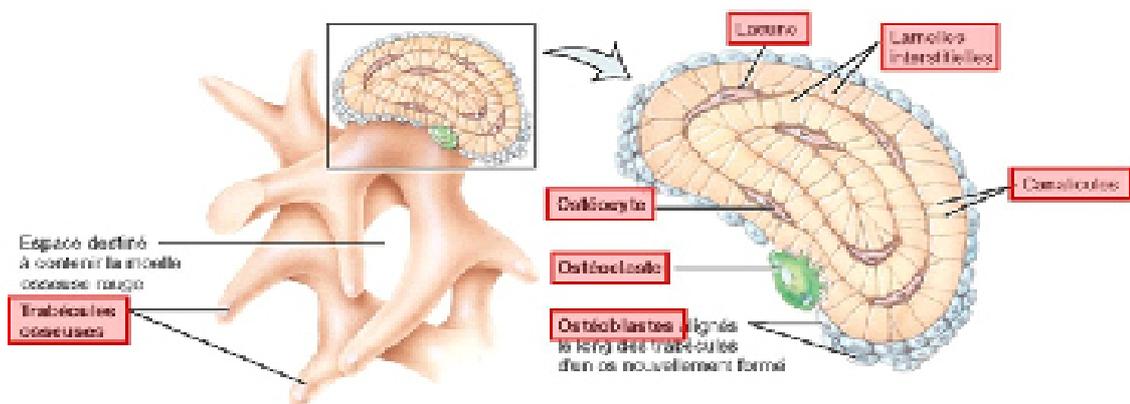
2-2- Le tissu osseux trabéculaire ou os spongieux

Il est constitué par un réseau de trabécules de tissu osseux :

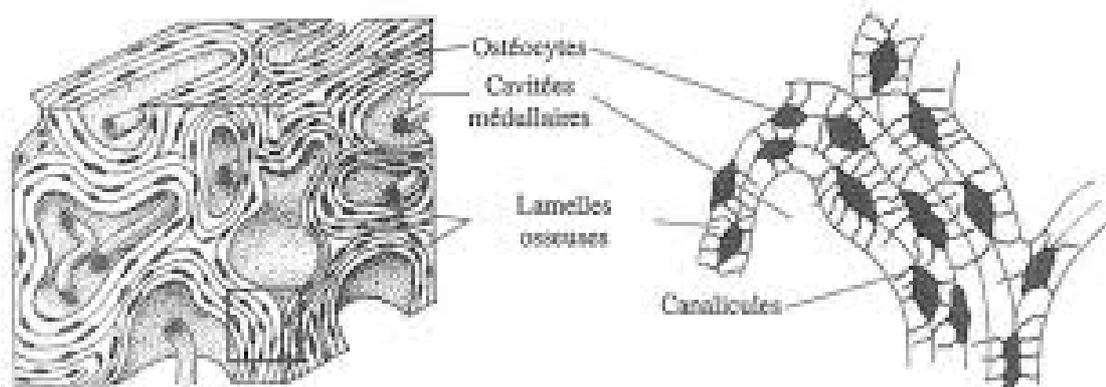
- ramifié et anastomosé;
- délimitant des espaces intercommunicants occupés par la moelle osseuse hématopoïétique (multiples cavités médullaires) ainsi que par des vaisseaux. En fait, le tissu osseux spongieux diffère du tissu osseux compact par la taille et le nombre de ces cavités. Les lamelles osseuses sont organisées, dans ce cas, autour des cavités et sont disposées irrégulièrement.

Exemple : de tissu osseux spongieux : épiphyses des os longs, Diploé des os plats.....

Tissu osseux spongieux



TISSU OSSEUX SECONDAIRE DE TYPE SPONGIEUX



2-3- le tissu osseux haversien ou compact

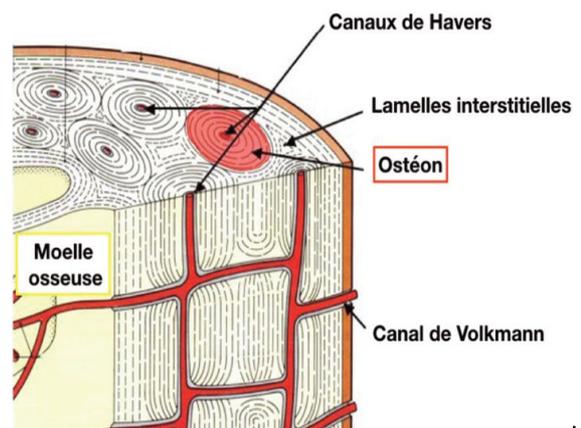
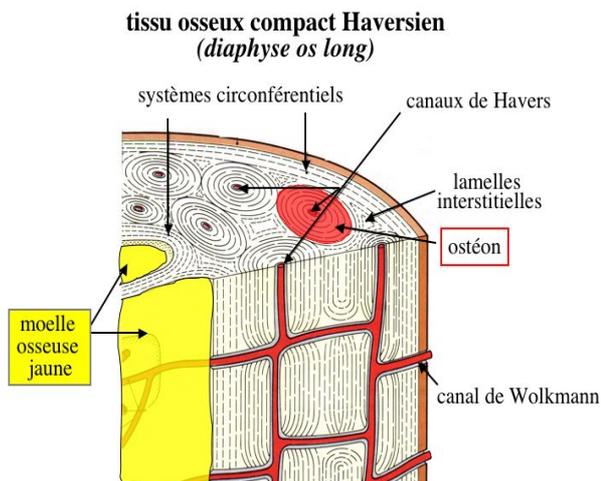
Dans le tissu osseux compact, les lamelles osseuses forment des ensembles circulaires nommés **ostéones** ou **système de Havers**. Chaque ostéone est centré par un canal, le **canal de Havers**, au sein duquel circulent des capillaires sanguins et des fibres nerveuses amyéliniques (sensitives et végétatives).

Les ostéones sont séparés par des **ostéones incomplets** qui dérivent de la résorption partielle d'ostéones. Les lamelles osseuses formant ces ostéones incomplets sont nommées **lamelles osseuses interstitielles**.

Par ailleurs, les ostéones sont reliés les uns aux autres ainsi qu'avec la surface de l'os par des canaux transversaux, les **canaux de Wolkman**. Ceux-ci confèrent une résistance maximale au tissu osseux, en répartissant les forces de pression. Le tissu osseux compact est localisé au pourtour des os courts (vertèbres), dans les tables internes et externes des os plats (os du crâne, sternum) ainsi qu'au pourtour de la diaphyse et de l'épiphyse des os longs (tibia, fémur...).

Enfin, le tissu osseux compact de la diaphyse des os longs présente 2 caractéristiques supplémentaires :

- les ostéones sont bordés par des lamelles osseuses parcourant la circonférence externe et interne du tissu osseux compact : il s'agit des **systèmes circonférentiels internes et externes**,
- les canaux de Wolkman relient les ostéones à une cavité osseuse centrale, la cavité médullaire, qui contient du tissu adipeux nommé **moelle osseuse jaune**.



2-4- le tissu conjonctif associé au tissu osseux :

Qu'il s'agisse de tissu osseux mature ou immature, les surfaces osseuses externes et internes sont recouvertes de tissu conjonctif non spécialisé.

- Le périoste

Le périoste est une membrane continue, enveloppant dans presque toute son étendue la surface extérieure des os, presque toute son étendue, car il fait défaut au niveau des tendons et des ligaments. Le périoste manque encore sur les parties que revêt le cartilage articulaire et les os sésamoïdes.

Il est responsable de la croissance, du développement et de la forme des os.

Il est également responsable de la réparation des dommages que les os peuvent subir

Le périoste est formé de deux couches, une externe fibreuse et une interne responsable de la croissance des os.

• Couche externe ou fibreuse

C'est la couche la plus éloignée de l'os. C'est une couche de tissu conjonctif. Il contient des fibroblastes et des fibres de collagène. Ces fibres sont produites par les fibroblastes.

Les fibroblastes sont des cellules dérivées de cellules mésenchymateuses. Cette couche est également très vascularisée et possède des terminaisons nerveuses.

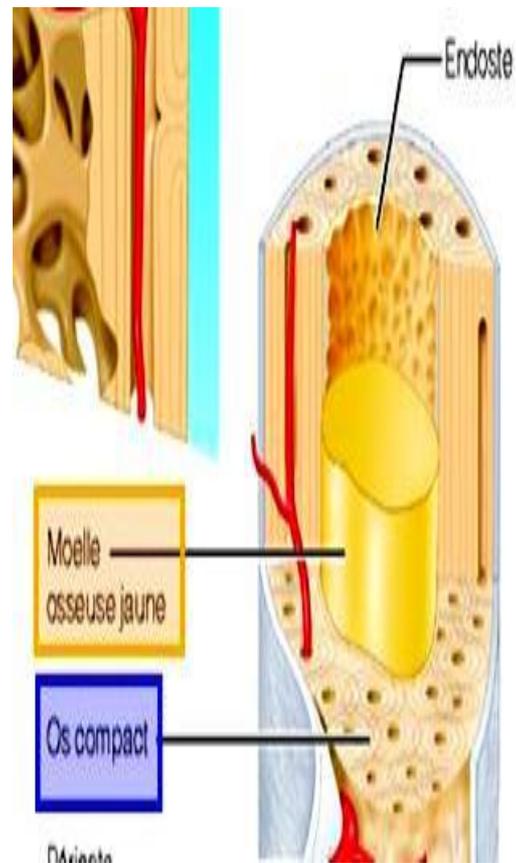
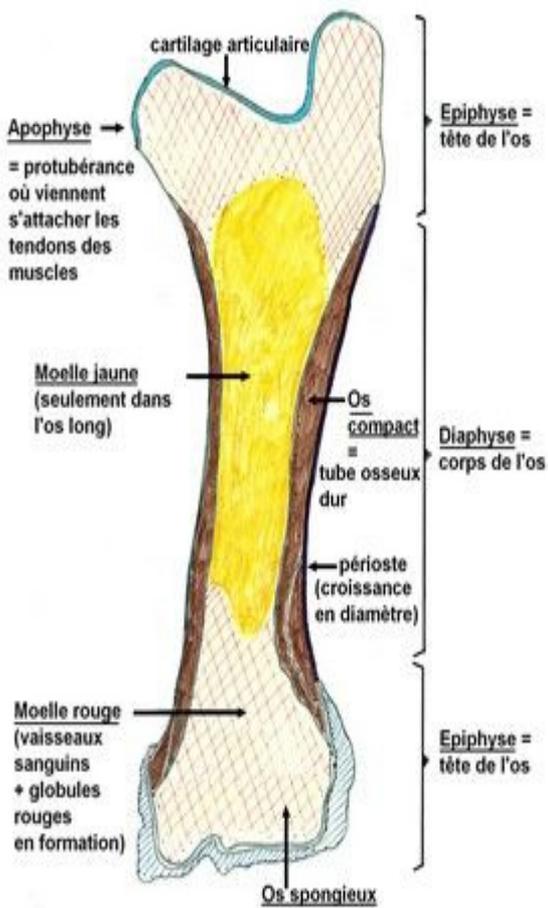
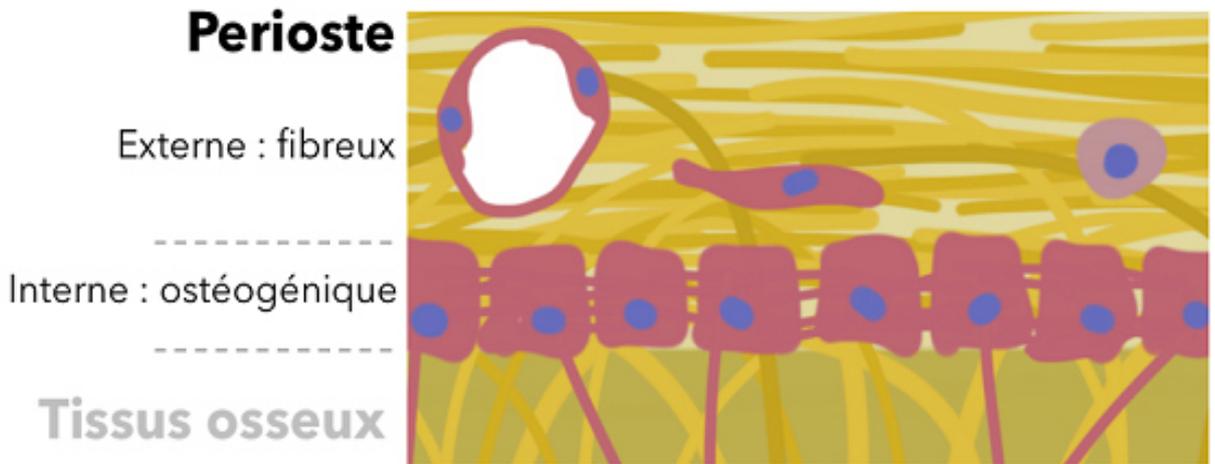
• Couche interne ou ostéogène

C'est la couche la plus interne et est en contact avec l'os. Il contient des cellules ostéogènes et est vascularisé. Les cellules ostéogènes peuvent être différenciées en deux types de cellules: les ostéoblastes et les chondroblastes.

Les deux types de cellules jouent un rôle fondamental dans la croissance des os. Ils aident également à réparer les blessures subies par les os.

- 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)



3-Composition de l'os

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

- Une matrice extracellulaire (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.

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

3-1- La matrice osseuse

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

3-1-1- 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 kératane sulfate)
- eau et électrolytes.

3-1-2- Partie minérale

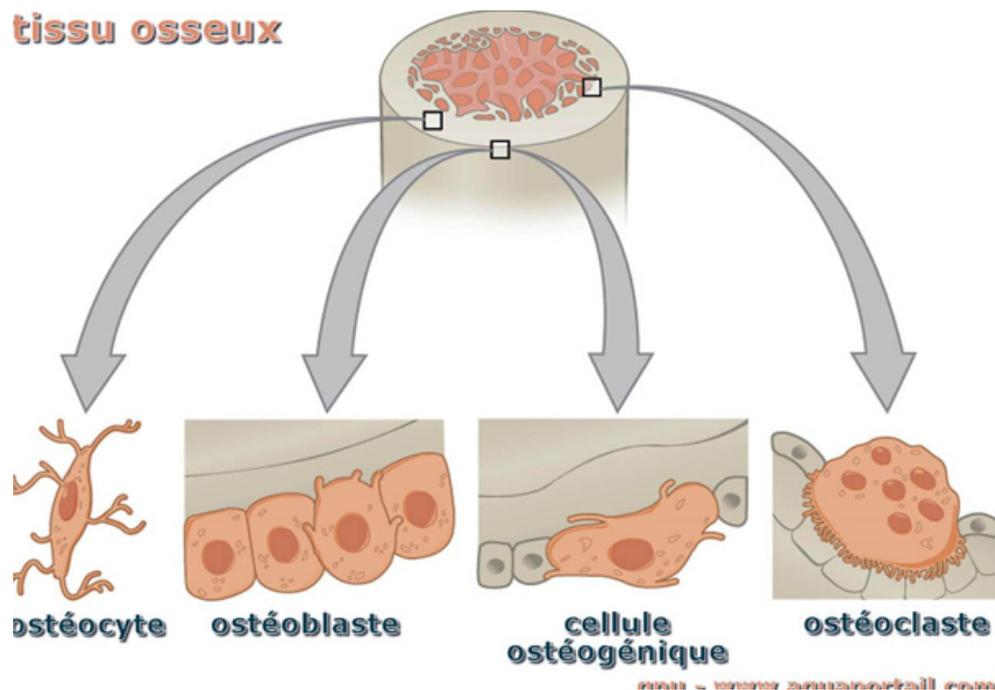
La matrice minérale est responsable de la rigidité de l'os, les minéraux se fixent sur la trame protéique de l'ostéoïde. Les minéraux les plus importants sont :

- le calcium • le phosphore • le sodium • le Potassium • le Magnésium

La matrice organique se minéralise par des dépôts de phosphate et de calcium cristallisés, formant des cristaux d'hydroxyapatite (apatite hydratée) $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$.

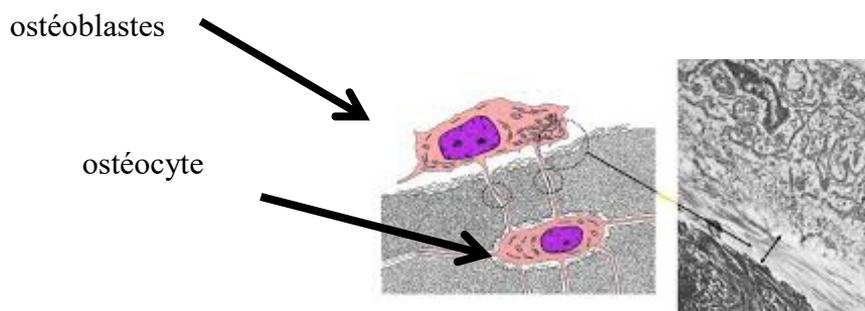
3-2- Cellules osseuses

Le tissu osseux adulte apparaît formé des cellules suivantes :



3-2-1- Ostéoblastes

- **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.



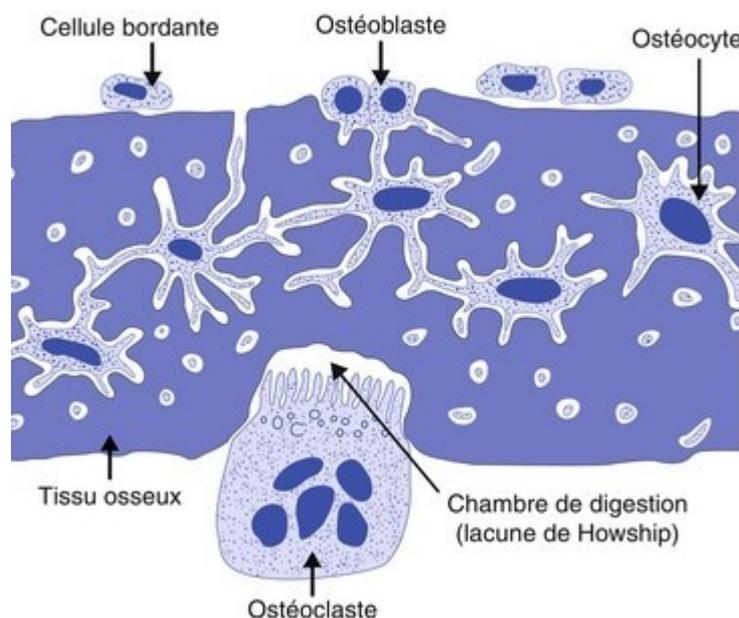
- **Aspect au microscope électronique** : Elles présentent un aspect caractéristique de cellules activement engagées dans la synthèse de protéines. On observe :

- 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.

- **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)

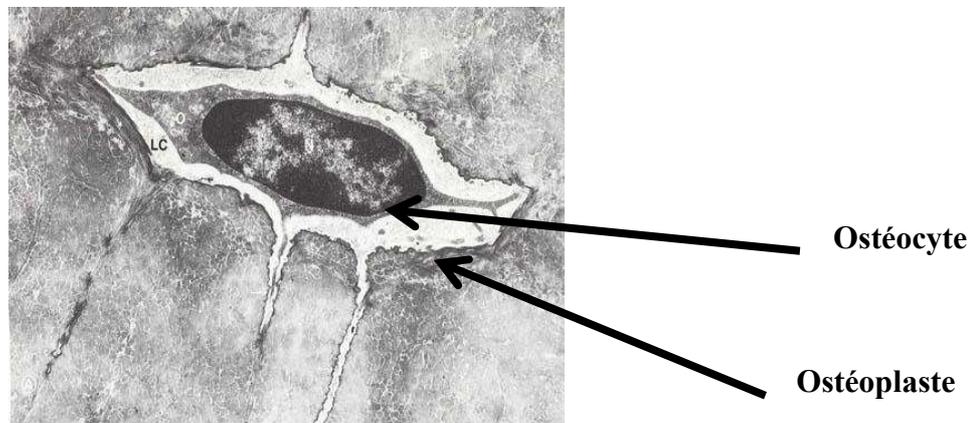
3-2-2- Cellules bordantes

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



3-2-3- Ostéocytes

- **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 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 intracellulaires sont moins développés que dans l'ostéoblaste.



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.
- **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.

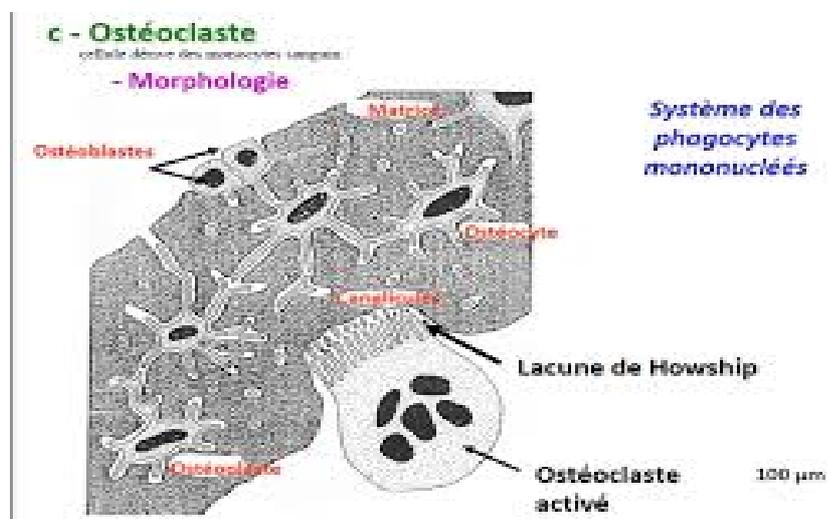
- L'ostéocyte n'a pas la capacité de se diviser, d'autant que la rigidité et l'imperméabilité de la matrice extracellulaire s'y opposent.
- Elle joue un rôle dans le renouvellement et l'entretien de la matrice osseuse.

3-2-4- 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

- 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.



- **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 (+++)

- **Cytophysiologie** L'ostéoclaste sécrèterait 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.

4- ossification

C'est un processus de construction des tissus osseux. Il existe deux grands types d'ossification

L'apposition osseuse s'effectue toujours dans une zone où préexiste :

- **Soit un tissu conjonctif très riche en collagène**
 - ossification de membrane : pour la formation des os plats
 - ossification périostique : pour la formation de la diaphyse des os longs
- **Soit du cartilage : ossification enchondrale (enchondrale)**

Il s'agit dans tous les cas d'une ossification primaire

- **Soit une couche de tissu osseux déjà formé :**
 - Résorption et Construction = Remodelage Osseux

S'effectuent en même temps au cours du développement et de la croissance osseuse mais aussi à un degré moindre tout au long de la vie c'est ce qu'on appelle le remodelage osseux.

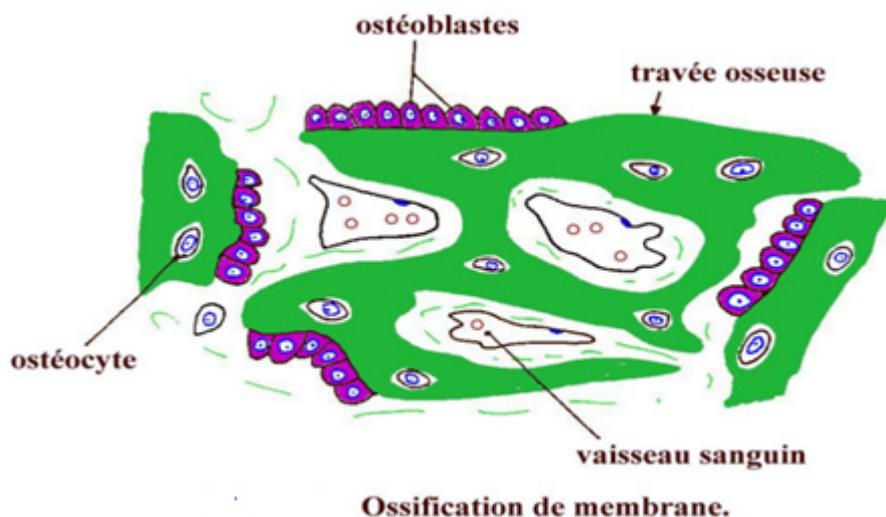
Ces deux activités opposées mais complémentaires conduisent :

- au maintien de la masse osseuse
- rôles métaboliques et de soutien : libération et stockage des sels minéraux

Il s'agit d'une ossification secondaire

4-1- Ossification de membrane

- Tissu osseux se développe à partir d'une membrane fibreuse
- Le tissu osseux dérive directement des cellules mésenchymateuses
- Centres d'ossification très vascularisés
- Survient lors du développement des os plats



4-2- Ossification enchondrale ou cartilagineuse

L'ossification se fait à partir du cartilage hyalin : L'ossification enchondrale se développe à partir d'un centre d'ossification diaphysaire puis se poursuit au niveau des deux centres d'ossification épiphysaire.

Au niveau des cartilages de conjugaison métaphysaire des os longs: la croissance en longueur des os est assurée (les cartilages de conjugaison sont situés entre la métaphyse et l'épiphyse des os longs).

4-2-1- l'ossification diaphysaire

Au niveau diaphysaire, au centre, suite à la pénétration vasculaire, un premier centre d'ossification apparaît :

- les chondrocytes deviennent globuleux et hypertrophiés, avec un cytoplasme qui se charge de glycogène, de lipides et des phosphatases alcalines; ils deviennent vacuolaires par la suite et finissent par dégénérer.
- Les chondroplastes augmentent de volume en même temps que les cellules, aux dépens de la matrice interterritoriale cartilagineuse qui est réduite à de très minces travées irrégulières, qui se chargent de calcium et de phosphatases.
- Le cartilage, qui n'était pas vascularisé, est pénétré par des vaisseaux sanguins qui se capillarisent au niveau des cellules hypertrophiées. Ces capillaires sont accompagnés de tissu conjonctif, contenant des cellules conjonctives peu différenciées ou préostéoblastes.
- Les pré-ostéoblastes détruisent la paroi des chondroplastes et se différencient en ostéoblastes qui vont élaborer de la matrice osseuse et constituer un os primaire.
- L'ensemble de ces phénomènes constitue la pré-ossification, qui va se développer et progresser de façon ordonnée.

Au niveau diaphysaire, en périphérie, une ossification primaire endomembranaire a lieu dite ossification périostique. Elle permettra la formation d'une gaine osseuse ou virole périostique (os primaire primitif non lamellaire).

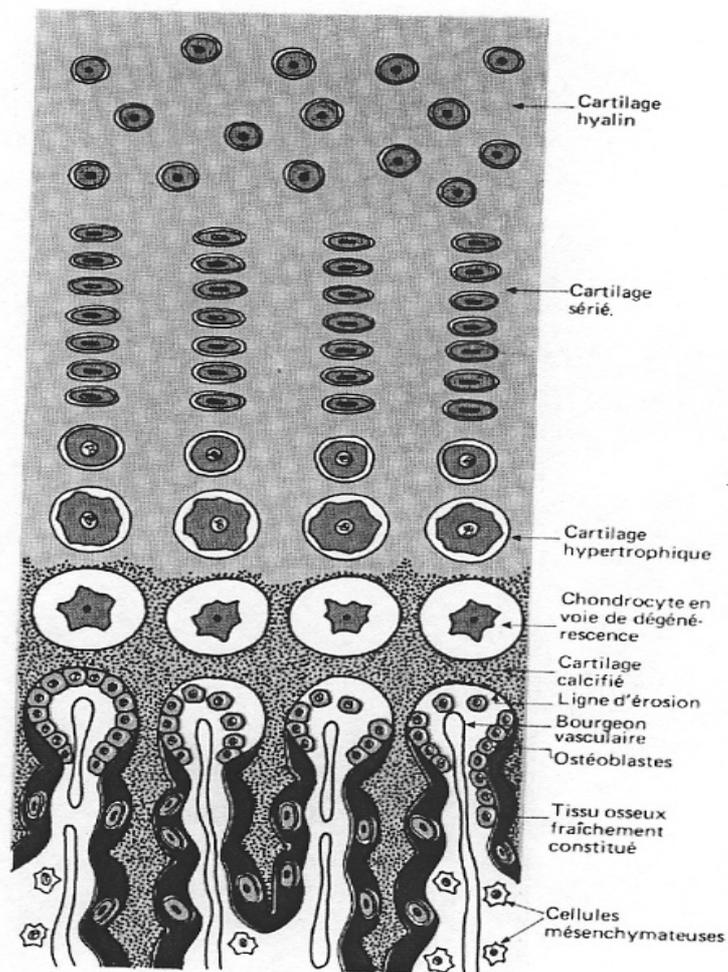
4-2-2- l'ossification épiphysaire

Au niveau des deux épiphyses, la pénétration vasculaire, induit la formation de deux centres d'ossification épiphysaire suivant les mêmes étapes décrites précédemment aboutissant à la constitution d'un os primaire au niveau des deux épiphyses.

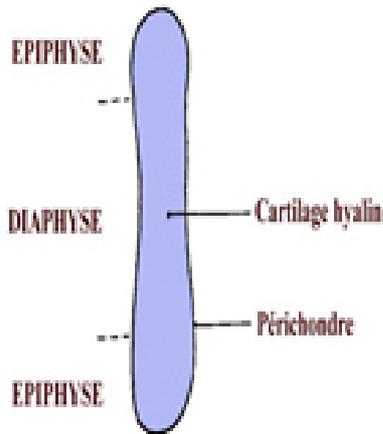
En conclusion, en passant progressivement du cartilage vers l'os, on rencontre donc successivement les zones suivantes dans la plaque de croissance:

- ◆ une zone de cartilage hyalin plus ou moins importante selon le degré de croissance de l'os ;
- ◆ une zone de cartilage sérié ou les chondrocytes se multiplient activement ;
- ◆ une zone de cartilage hypertrophié ;

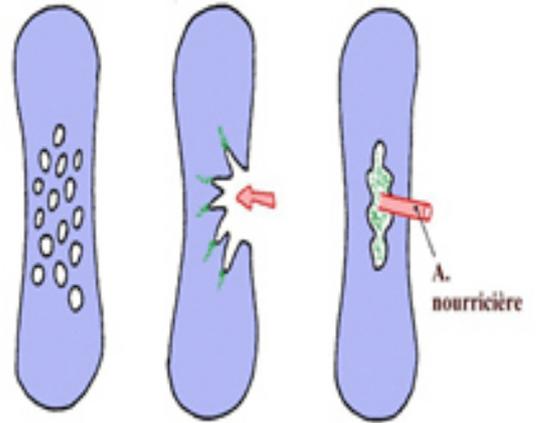
- ◆ une zone de cartilage calcifié où les cellules sont en voie de nécrose ;
- ◆ une zone de cartilage érodé, où des chondroclastes amenés par des bourgeons conjonctivo-vasculaires creusent des lacunes qui seront envahies par les précurseurs de la moelle osseuse hématopoïétique ;
- ◆ une zone d'ossification où les travées cartilagineuses ayant échappé à l'érosion servent de guide au dépôt d'ostéoblastes. Ces derniers sécrètent une matrice pré-osseuse qui va rapidement se minéraliser.



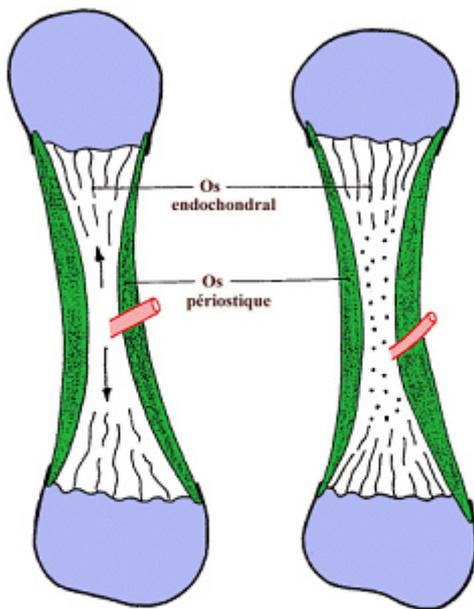
L'ossification endochondrale.



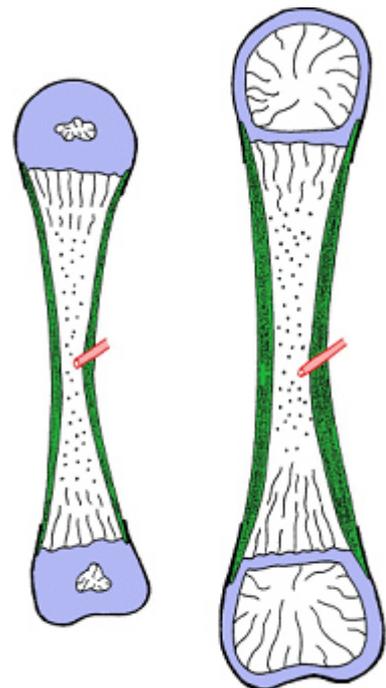
Ossification d'un os long.
Constitution de la maquette cartilagineuse.



Ossification d'un os long.
Apparition du centre d'ossification primaire de la diaphyse.



Ossification d'un os long.
Constitution de la diaphyse et formation de la cavité médullaire.



Ossification d'un os long.
Ossification épiphysaire.

5-Remodelage osseux

Le squelette adulte se renouvelle en permanence. Ce remodelage est assuré par deux types cellulaires, les ostéoclastes qui résorbent la matrice osseuse et les ostéoblastes qui synthétisent une nouvelle matrice.

Le mécanisme cellulaire de renouvellement du tissu osseux est soumis à l'influence de facteurs exogènes et endogènes dont les plus importants, capables de moduler l'activité des cellules osseuses, sont des facteurs hormonaux et locaux ainsi que les contraintes mécaniques. (Les hormones calcitropes PTH, vitamine D et calcitonine) modulent le remodelage osseux, soit directement, soit en modifiant la production des facteurs locaux de régulation du métabolisme osseux. Elle se déroule en plusieurs phases

5-1- Phase quiescente

La surface osseuse est normalement recouverte de cellules bordantes qui empêchent l'accès des ostéoclastes à la matrice extracellulaire(MEC)

5-2- Phase d'activation

Sous l'action de **facteurs ostéorésorbants** (hormone parathyroïdienne ou PTH, vitamine D3 et prostaglandine), les cellules bordantes se rétractent et libèrent l'accès aux ostéoclastes qui peuvent adhérer à la matrice osseuse

5-3- Phase de résorption

Pendant laquelle sont générés les ostéoclastes, qui détruisent la matrice osseuse pendant la phase de résorption avant d'entrer en apoptose

Chaque ostéoclaste devenu actif se fixe à la matrice sur le lieu de résorption et la phase de résorption de la matrice commence. Elle s'effectue en deux étapes successives :

- 1) dissolution de la phase minérale par acidification du compartiment de résorption,
- 2) dégradation de la matrice organique sous l'action d'enzymes protéolytiques lysosomales.

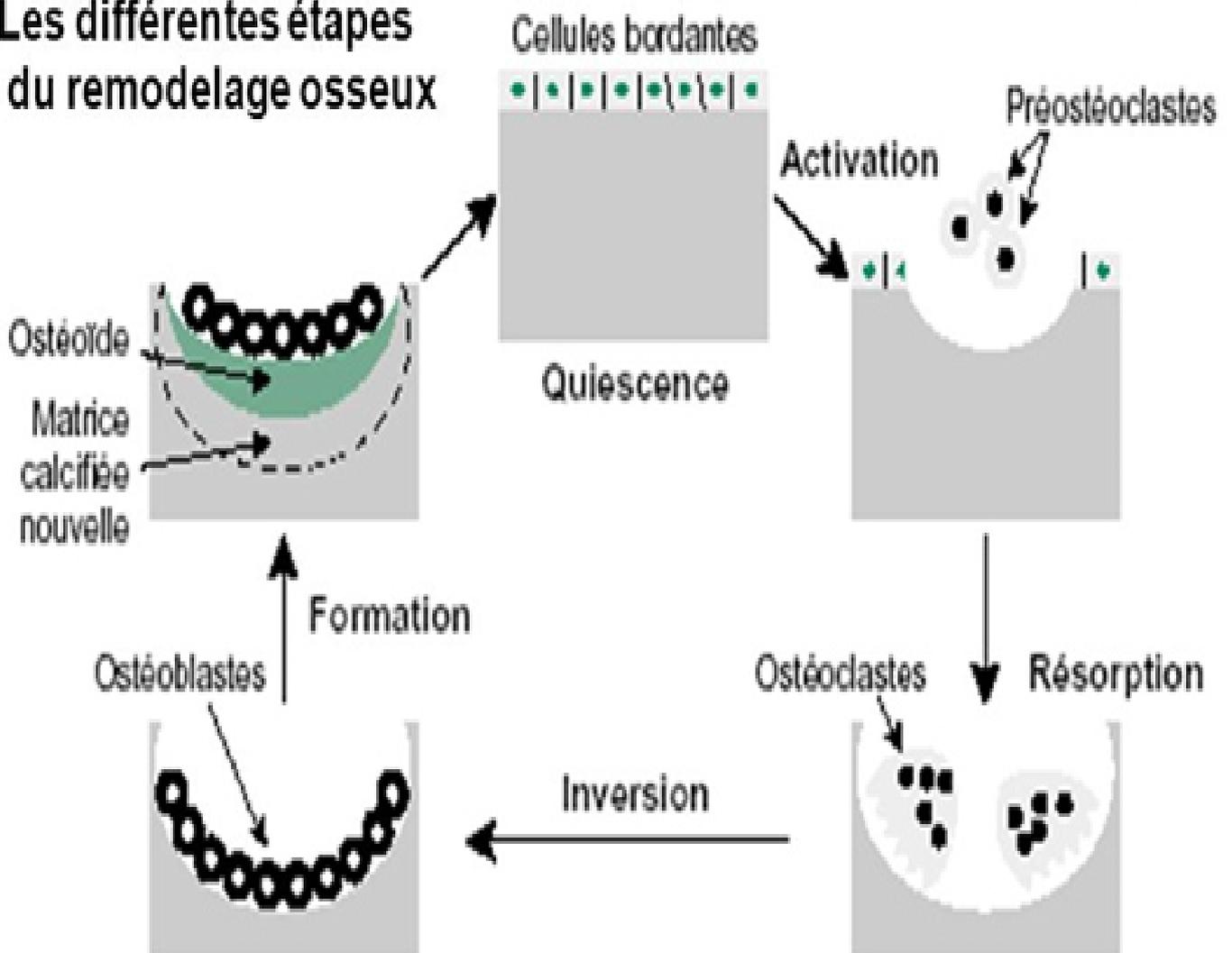
5-4- Phase d'inversion

Pendant laquelle les ostéoblastes sont générés puis prennent place dans la cavité précédemment creusée par les ostéoclastes

5-6- Phase de formation ou de reconstruction

au cours de laquelle une matrice organique est déposée par les ostéoblastes. S'ensuivra alors la minéralisation de la matrice osseuse.

Les différentes étapes du remodelage osseux



6- les types d'articulations

On distingue quatre types d'articulation :, les synarthroses, les amphiarthroses et les diarthroses

- **Les Synarthroses:** (articulations fixes) Ce sont des os qui sont engrenés ensemble (os du crâne).
- **Les amphiarthroses:** Ce sont des articulations peu mobiles dans lesquelles les deux surfaces osseuses sont unies par les éléments fibreux très courts ne permettant pas que des déplacements réduits.
- **Les diarthroses:** Ce sont les articulations les plus typiques. Elles sont constituées par des surfaces articulaires réunies par des moyens d'union (capsules et ligaments) et mobiles l'une par rapport à un organe de glissement (la synoviale).