



Le Tissu Osseux

Définition

Le tissu osseux est un tissu conjonctif spécialisé, il dérive du mésoblaste. Il est constitué de différentes cellules, d'une matrice extracellulaire minéralisée (MEC) lui conférant sa rigidité et sa solidité. Il joue un rôle de soutien (support), de protection des organes, de mouvement, stockage des minéraux et métabolisme phosphocalcique ainsi que la formation des cellules sanguines.

L'os est une association fonctionnelle et biologique de plusieurs tissus où le tissu osseux est finalement minoritaire (la moelle osseuse 60%, le tissu osseux 25%, le cartilage articulaire et le périoste 10% et les formations vasculaires 5%).

I. Les éléments constitutifs du tissu osseux

1. La matrice osseuse

Elle est constituée d'une partie (phase) organique (25%), d'une partie minérale (70%) et d'eau (5%).

a. Phase (matrice) organique

- Le constituant largement majoritaire est du collagène de type I (90%) et 10% de substance fondamentale. De nombreuses autres molécules de nature diverse sont également présentes :
- Des mucopolysaccharides (en particulier chondroïtine sulfate)
- Des protéines spécifiques impliquées dans la minéralisation de la matrice telles que :
 - L'ostéonectine : c'est la plus abondante. Elle sert de colle entre les parties minérales et organiques.
 - L'ostéocalcine : elle intervient dans la minéralisation de l'os
- Protéoglycanes et GAGs.
- Cytokines et facteurs de croissance qui ont un rôle fondamental dans le remodelage du tissu osseux et sa minéralisation.
- De l'eau et des électrolytes.

b. La phase minérale

Le tissu osseux constitue le réservoir principal des composants minéraux de l'organisme (98% du calcium, plus de 80% du phosphore et des carbonates et 50% de magnésium).

Elle est composée d'une fraction **amorphe** et une fraction **crystalline**.

- La fraction amorphe contient divers **phosphates calciques**.
- La fraction cristalline, la plus importante est constituée de sels de calcium sous forme de cristaux **d'hydroxyapatite** $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ et de carbonate de calcium. Ces cristaux sont visibles en ME et sont situés soit entre les fibres de collagène ou à l'intérieur de celles-ci. La phase minérale est responsable de la rigidité de l'os pour supporter beaucoup de poids.

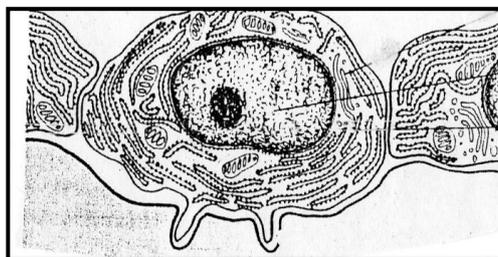
2. Les cellules osseuses : On observe 4 types de cellules :

2.1 L'ostéoblaste : c'est une cellule dérivant des cellules mésenchymateuses. Elle est située à la surface interne et externe des zones osseuses en croissance, de forme grossièrement cubique ou ovoïde, allongée de 15 à 20µm. Son noyau est ovalaire, le cytoplasme est basophile car il est riche en REG et en ribosomes libres. Les ostéoblastes sont des cellules jeunes ou immatures qui synthétisent et sécrètent la matrice osseuse organique (collagène de type I protéoglycannes ...ou de la substance organique **ostéoïde pré osseuse**) et permettent sa minéralisation. Ils jouent aussi un rôle ostéolytique car ils libèrent des collagénases sous l'action de la **parathormone**.

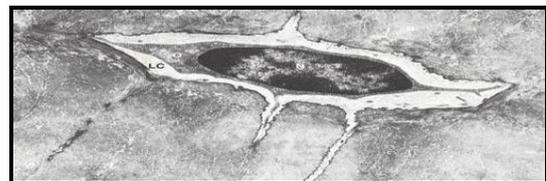
2.2 L'ostéocyte : Il correspond à l'état de différenciation terminale de l'ostéoblaste. C'est une cellule plus fusiforme que les ostéoblastes contenue dans une logette appelée **ostéoplaste**, de 15 à 30 µm de long et 10 à 15 µm de large. L'ostéocyte émet de nombreux fins prolongements contenus dans des canalicules. Les prolongements de deux ostéocytes sont réunis par des jonctions et entrent en contact avec les ostéoblastes situés en bordure. Le noyau est ovoïde et le cytoplasme est acidophile car les organites intracellulaires sont moins développés, surtout le REG. Les ostéocytes non plus la capacité de se diviser.

2.3 L'ostéoclaste : est situé à la surface de l'os en voie de résorption. C'est une cellule dérivée des monocytes. Ce sont des cellules très volumineuses, de 20 à 100 µm de diamètre, plurinucléées (de 30 à 50 noyaux), hautement mobiles, capables de se déplacer à la surface des travées osseuses d'un site de résorption à un autre. Le cytoplasme est légèrement basophile contient de nombreux lysosomes et des vacuoles de sécrétion. La membrane plasmique forme une bordure en brosse au pôle en contact avec la matrice osseuse. Activés, les ostéoclastes dégradent la matrice osseuse minéralisée et sont responsable de la résorption osseuse (ostéoclasie).

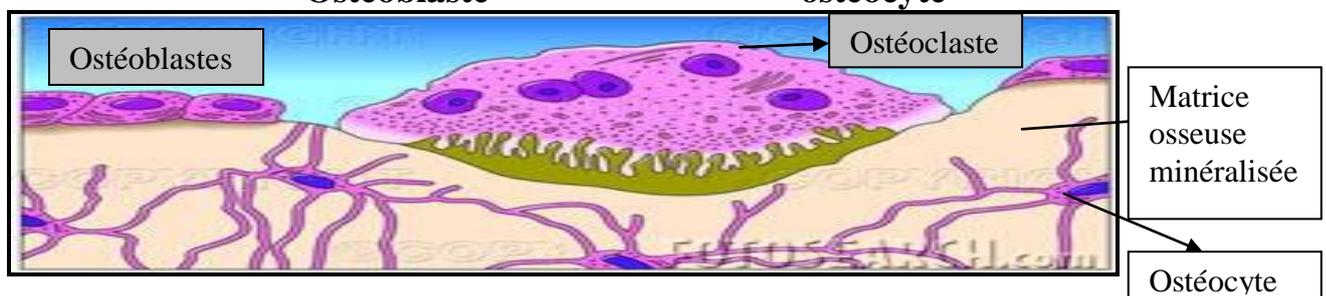
2.4 Les cellules bordantes : petites cellules, peu différenciées, situées en bordure des surfaces osseuses minéralisées. Il s'agit très probablement de cellules souches. Ces cellules n'ont pas d'activités de synthèse mais, il est actuellement admis qu'elles sont capables, de se multiplier et de se redifférencier en ostéoblastes actifs. Ce sont des cellules aplaties et allongées, disposées en monocouches, possédant peu d'organites et reliées entre elles et avec les ostéocytes voisins.

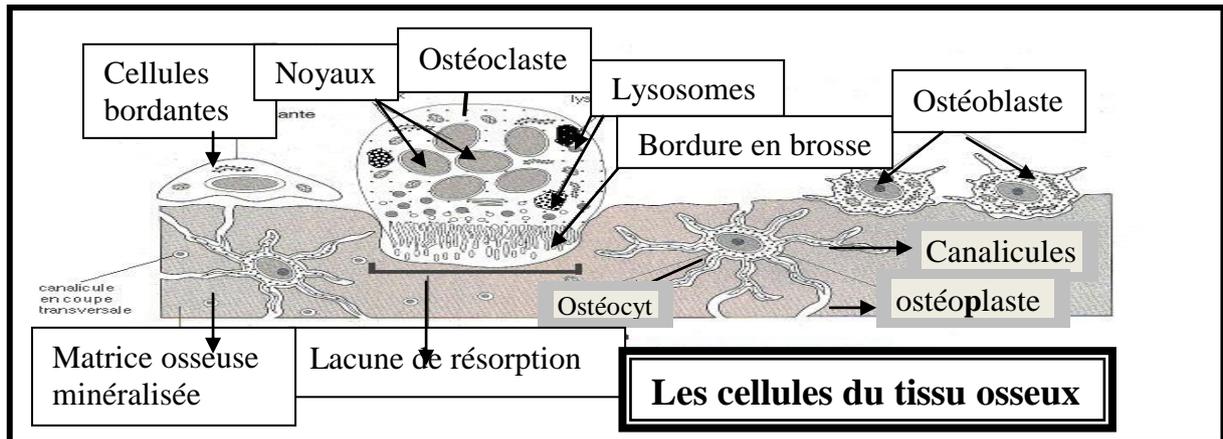


Ostéoblaste



ostéocyte





II. Les différents types de tissu osseux

A. Le tissu osseux non lamellaire (fibreux, réticulaire ou primaire)

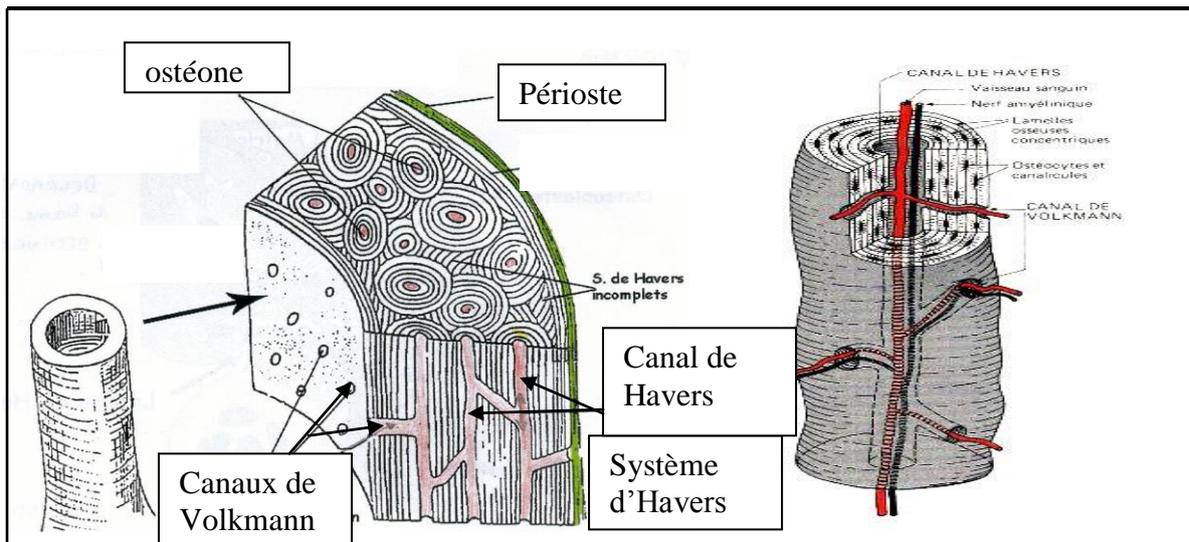
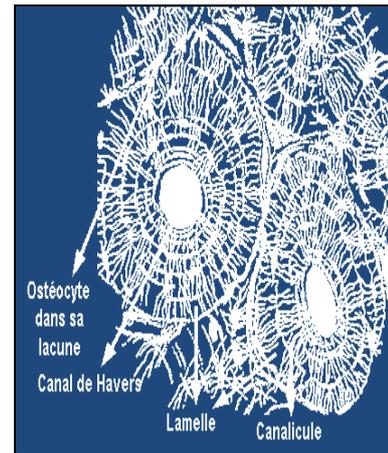
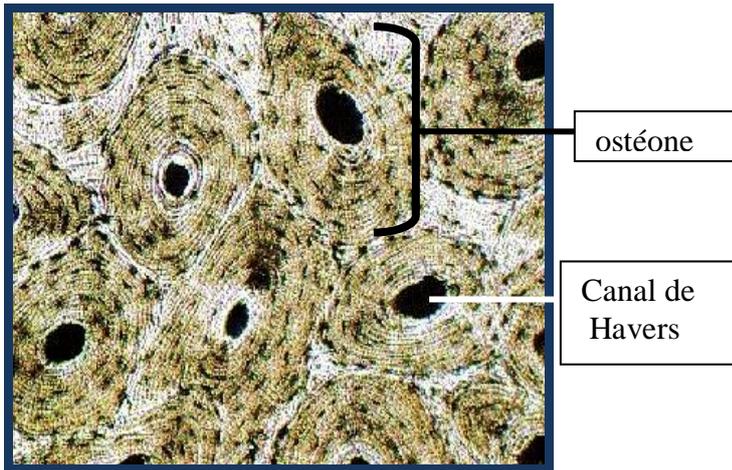
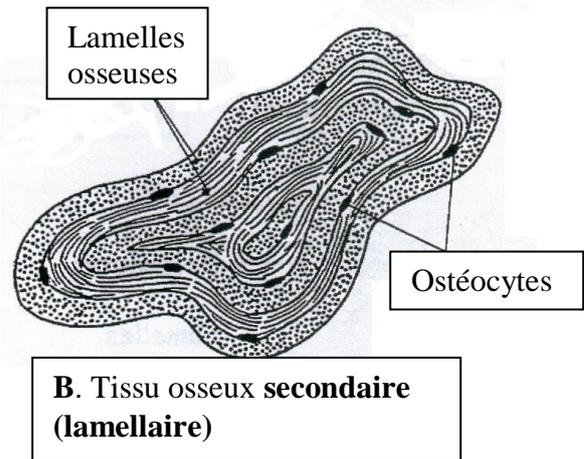
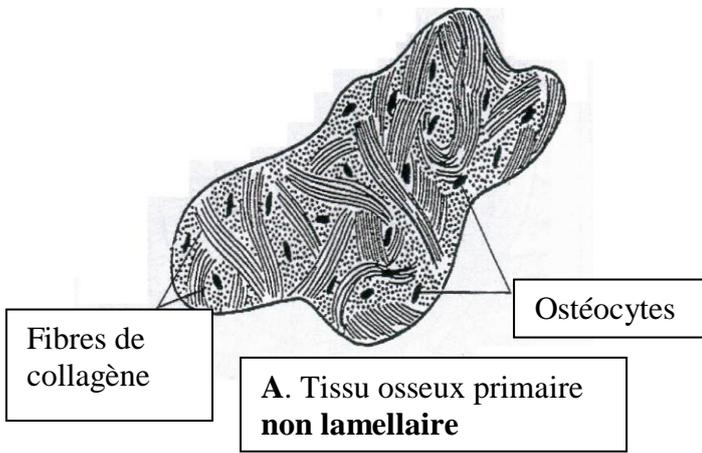
Premier tissu destiné à être remplacé par un tissu osseux de type lamellaire. Ce type de tissu est mis en place lors des processus d'ossification ayant lieu au début de la vie fœtale. Il est un tissu non lamellaire primitif où les faisceaux de fibres de collagène y sont **entrecroisés sans aucune organisation** (sont orientés irrégulièrement). Il résulte d'une ossification primaire du cartilage ou du tissu conjonctif. Les protéoglycanes et les ostéocytes sont plus abondants que dans le tissu osseux lamellaire. On le trouve chez le fœtus, il persiste dans les osselets de l'oreille moyenne (l'enclume et le marteau chez l'adulte).

B. Tissu osseux secondaire ou lamellaire

La matrice osseuse disposée en lamelles superposées (ou centriques), dans chaque lamelle les fibres de collagène sont orientées parallèlement et selon des directions qui sont différentes d'une lamelle à une autre. Entre les lamelles se situent les ostéocytes. Cette organisation tissulaire est celle qui est observée pour l'ensemble des pièces osseuses quelle que soit leur forme. Chaque pièce osseuse comporte deux sortes de tissus osseux désignés sous les noms (os compact et d'os spongieux).

1. Le tissu osseux haversien ou compact

- C'est une masse solide de tissu osseux formant la corticale des pièces osseuses. La matrice osseuse occupe 95 % du volume tissulaire. C'est le type définitif que l'on trouve chez l'adulte.
- Il est constitué par un assemblage d'unités structurales de forme cylindrique appelées **ostéons ou système de Havers**, de 200 à 300 µm de diamètre.
- Chaque système de Havers (**ostéon**) est constitué de 4 à 20 lamelles osseuses concentriques délimitant un canal appelé canal d'Havers, d'un diamètre de 20 à 100 µm. Les ostéocytes sont localisés entre les lamelles.
- D'une lamelle à une autre, les fibres de collagène qui s'y trouvent possèdent une orientation différente, ce qui confère au tissu osseux sa rigidité, solidité et une relative résistance mécanique optimale à des forces de torsion.
- Les canaux de Havers contiennent des vaisseaux sanguins et des nerfs amyéliniques. C'est donc un tissu innervé. Ils sont en rapport avec la cavité médullaire et la surface ou l'extérieur de l'os par les canaux transversaux (**canaux de Volkmann**). Figure p.14
- Des phénomènes permanents de résorption osseuse conduisent à l'existence d'un tissu interstitiel de comblement entre les ostéons et correspondent à des restes d'ostéons partiellement dégradés.

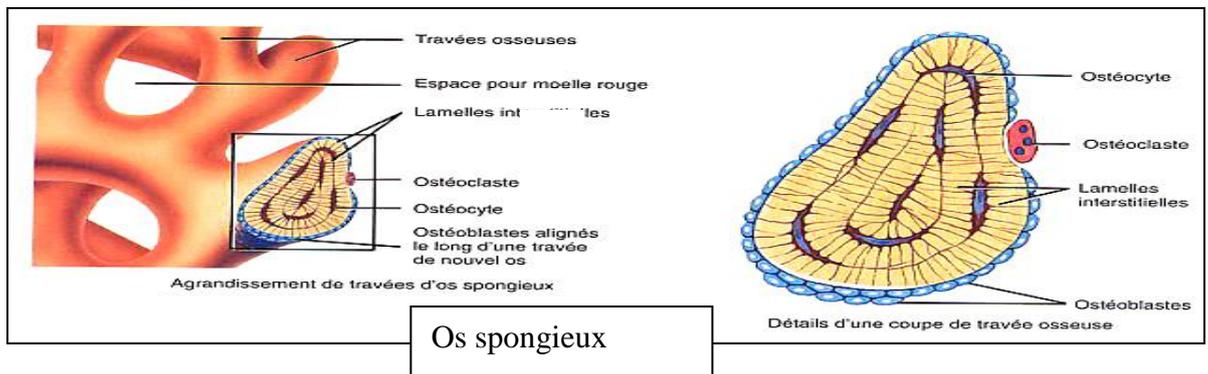


2- Le tissu osseux spongieux (trabéculaire ou aréolaire)

Il constitue les épiphyses et les métaphyses des os longs et l'intérieur des os courts et prédomine dans les os plats. Cette variété de tissu osseux représente 10% du squelette chez l'adulte. Les lamelles sont organisées autour des cavités. Il est constitué par un réseau labyrinthique de plaques et ou de trabécules dans les espaces duquel se localise un tissu hématopoïétique.

Les cavités sont remplies d'une substance rouge, d'aspect sanglant, la moelle osseuse rouge hématopoïétique. La matrice osseuse représente 20% du volume de ce tissu.

Classiquement, on dit que l'os Haversien compact a un rôle mécanique, alors que l'os spongieux a une fonction métabolique.



III. Architecture des os

A. Structure d'un os long

Os des membres (exp : fémur, humérus, tibia...) à prédominance d'os compact. Anatomiquement, on distingue trois régions : une partie médiane rétrécie, la diaphyse et deux extrémités élargies, les épiphyses. Les régions évasées reliant la diaphyse aux épiphyses sont appelées métaphyses.

- **La diaphyse** : est cylindrique, comporte une cavité centrale, la cavité médullaire remplie d'un tissu jaunâtre, très riche en graisse, la moelle osseuse jaune. La corticale diaphysaire est faite de tissu osseux haversien compact.

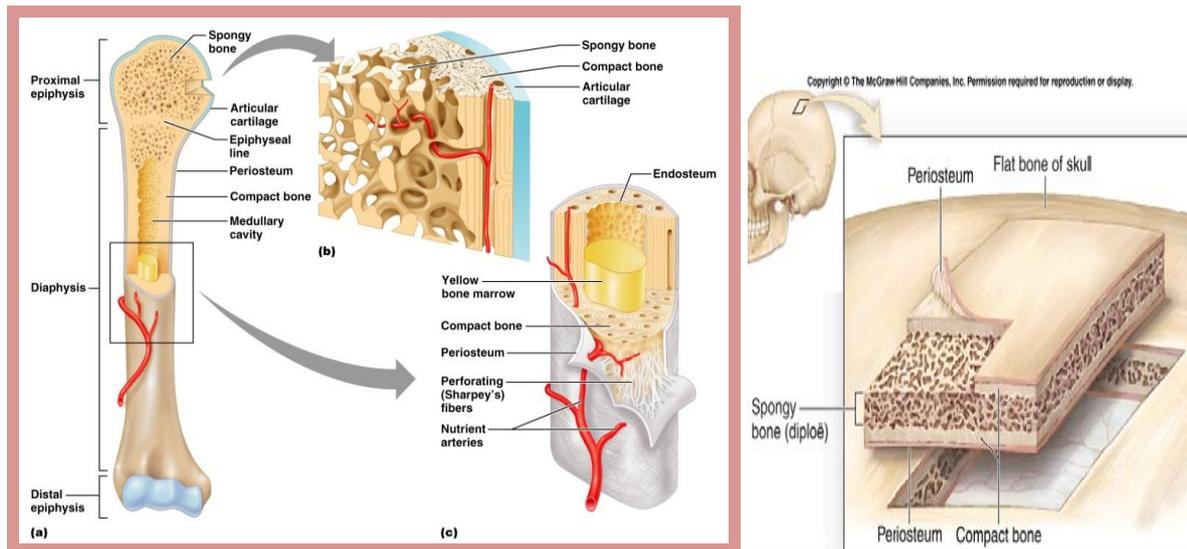
- **Les épiphyses** : situées aux deux extrémités de l'os, elles sont constituées du tissu osseux aréolaire (spongieux).

- **La métaphyse** : située entre la diaphyse et l'épiphyse. Pendant la croissance, elle est séparée des épiphyses par le cartilage de conjugaison (de croissance). Elle est formée de tissu osseux spongieux, revêtu d'une mince couche de tissu osseux périostique.

B. Les os courts : De forme plus ou moins cubique. Comprennent une mince couche de tissu osseux périostique entourant un tissu osseux spongieux. Le centre est occupé par un tissu osseux haversien aréolaire (spongieux). Exemple : os du carpe et tarse.

C. Les os plats : Os minces ayant une structure assimilable à celle d'une « gaufrette », avec une partie centrale spongieuse enserrée entre deux couches parallèles d'os compact (les tables internes et externes). Exemple : voûte crânienne, côtes.

D. Les os irréguliers : type qui groupe tous les autres os n'ayant pas les morphologies précédentes exp : les vertèbres.



VI. Les tissus de recouvrement des structures osseuses

Deux tissus mésenchymateux vascularisés recouvrent les surfaces osseuses : en interne, l'endoste, et externe, le périoste. Ces deux tissus jouent un rôle important dans le processus de croissance par apposition et dans l'homéostasie osseuse.

1. Le périoste : est une enveloppe ou gaine conjonctive dense, qui revêt la surface des pièces osseuses sauf au niveau des surfaces articulaires. Il comporte deux couches :

a. Une couche fibreuse externe : elle est superficielle faite de larges faisceaux de collagène, parallèle à la surface de l'os. Entre ces faisceaux de fibres de collagène circulent quelques fibres élastiques et il existe une très abondante vascularisation sanguine.

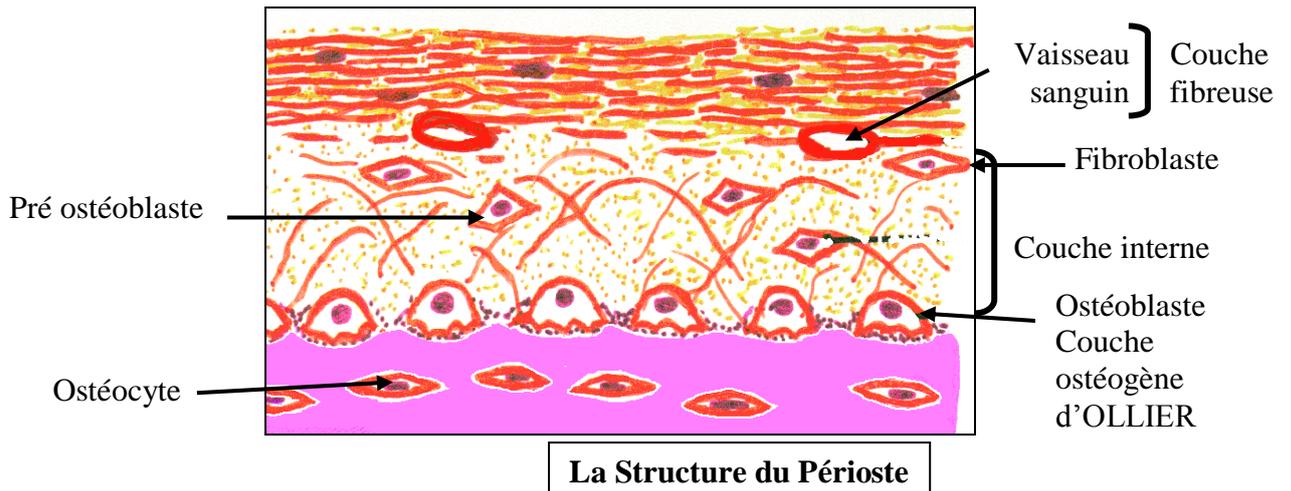
b. Une couche interne, ostéogène: contient

- Des faisceaux de fibres de collagène venant de la couche externe et poursuivent leur trajet dans le tissu osseux superficiel. La pénétration des fibres de collagène dans le tissu osseux superficiel est responsable de la très forte cohésion du périoste à l'os qu'il entoure.
- Des fibroblastes (dans la partie la plus superficielle)
- Des préostéoblastes (dans la partie moyenne)
- Des ostéoblastes (dans la partie profonde) disposés en une couche monocellulaire, la couche ostéogène d'Ollier.

Le périoste possède une très riche innervation sensitive, responsable des fameuses douleurs ressenties lors d'une fracture.

En dehors de la croissance, le périoste ne possède plus d'activité ostéogène et la couche d'Ollier disparaît complètement. Lors d'une réparation de fracture, la couche d'Ollier réapparaît, témoignant ainsi d'une reprise de l'activité ostéogène.

- L'endoste : Ce tissu est bien moins structuré que le périoste, est un tissu conjonctif mince, riche en cellules ostéoprogénitrices et en ostéoblastes. Il recouvre la paroi de la cavité médullaire des os long et les trabécules des os spongieux. Il possède un pouvoir ostéogène au cours de la croissance ou de la réparation des fractures.



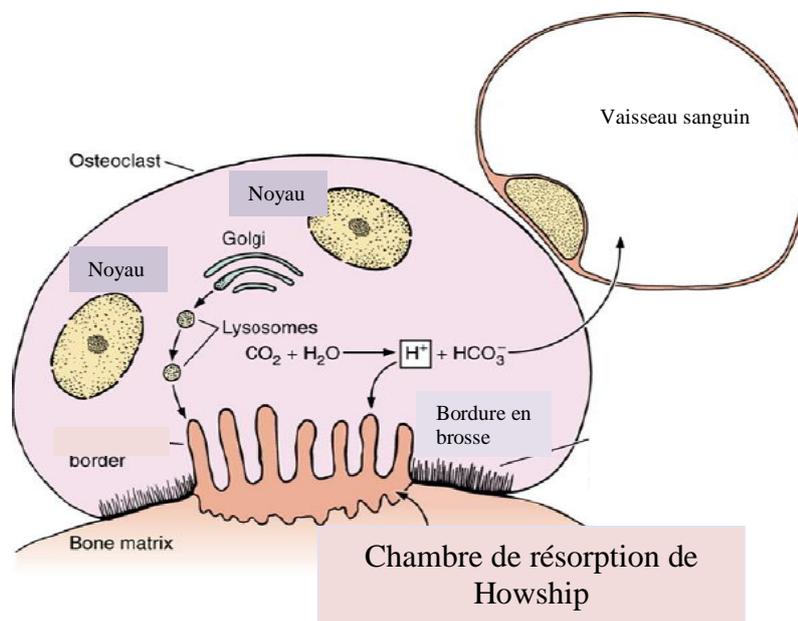
La résorption du tissu osseux

A. La résorption ostéoclastique (ostéoclasie)

La résorption du tissu osseux par les ostéoclastes est le phénomène le plus important. Dans la partie centrale de la face basale existe une bordure en brosse en face de laquelle se creuse, dans la matrice minéralisée, une lacune de résorption (lacune de Howship). L'ostéoclaste excrète (par exocytose) des ions H^+ par des pompes à protons membranaires situées au niveau de la bordure en brosse, et qui solubilisent la substance minérale de l'os (les sels minéraux), et d'un déversement d'enzymes lysosomiales (des hydrolases acides) qui digèrent et dépolymérisent les constituants organiques tels que les glycoprotéines et mucopolysaccharides, les collagénases attaquent les fibres de collagène.

B. La résorption péri-ostéocytaire (ostéolyse)

Certains ostéocytes ont une activité lytiques et par mécanismes mal connus assurent la déminéralisation et la lyse du tissu osseux qui les entourent.



L'ossification (ostéogénèse)

L'ossification est un processus qui permet la construction des os, leurs croissances en longueur et en épaisseur et le ramaniement osseux. Deux grands types d'ossification sont distingués : l'un, dit tissu non osseux, cartilage (ossification endochondrale) ou tissu mésenchymateux (ossification de membrane et ossification périostique), l'autre, dit ossification secondaire, où un tissu osseux se forme à partir d'un tissu osseux préexistant après qu'a été dégradé ce dernier.

- **L'ossification primaire** : forme toujours un tissu osseux non lamellaire. L'os peut prendre naissance à partir d'un modèle embryonnaire : soit sur une trame conjonctive (ossification endoconjonctive ou de membrane) soit sur une trame (pièce) cartilagineuse (ossification endochondrale).

- Il y aura ensuite un remaniement osseux pour former un tissu osseux lamellaire : c'est **l'ossification secondaire**.

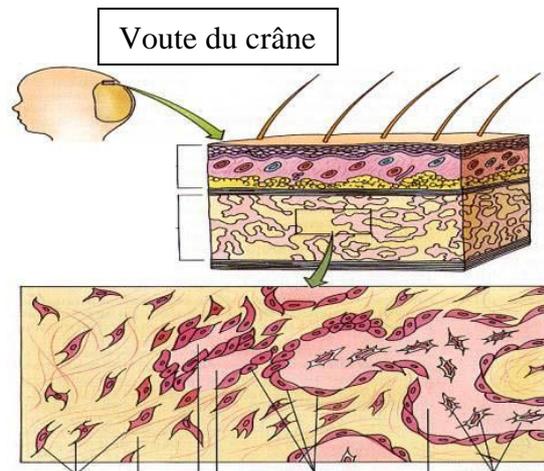
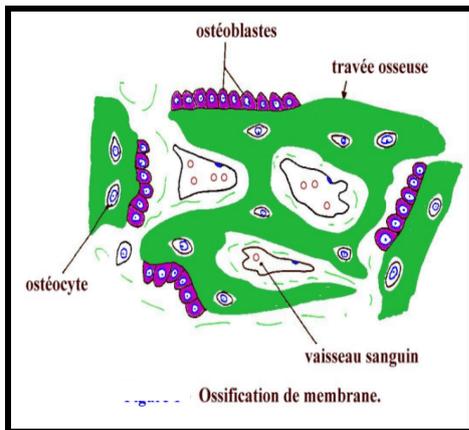
I- L'ossification primaire : elle s'observe principalement au cours de la **vie embryonnaire (fœtale)** .

1. Ossification endoconjonctive ou de membrane

- Elle s'effectue directement au sein d'un tissu mésenchymateux et elle s'observe notamment lors de la formation d'os plats tels ceux de la boîte crânienne et des maxillaires. On assiste à une différenciation des fibroblastes en ostéoblastes. Ces ostéoblastes élaborent une substance préosseuse ou l'ostéoïde (matrice extra cellulaire organique avant la minéralisation du tissu osseux) qui va en suite se minéraliser. Les ostéocytes s'entourent ainsi de matrice osseuse calcifiée et minéralisée. En effet les nouveaux ostéoblastes se disposent à la surface de la travée osseuse néoformée et sécrètent une nouvelle couche (par apposition) de substance préosseuse.

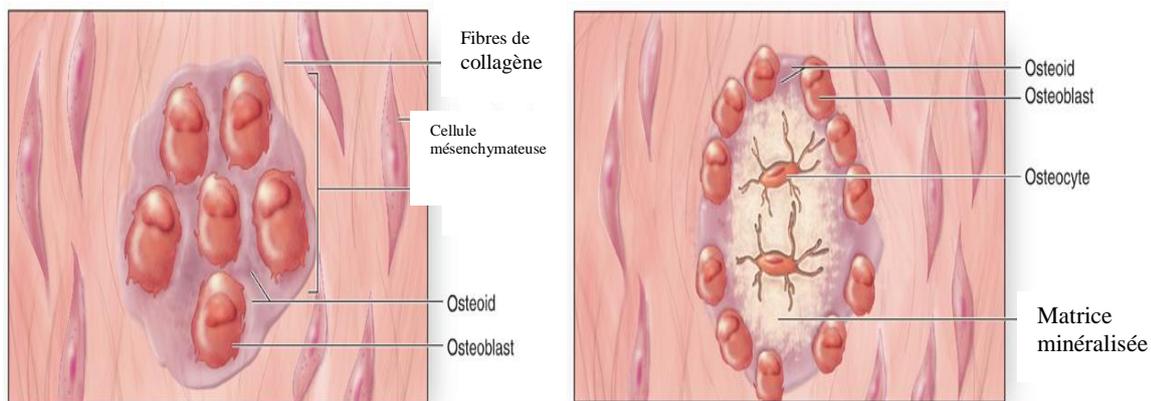
- Les cavités occupées par du tissu conjonctif sont envahies par des vaisseaux sanguins et des cellules indifférenciées sont à l'origine de nouveaux ostéoblastes.

- L'ossification **de membrane** est une étape essentielle de l'ostéogénèse des os plats, courts et à l'augmentation en diamètre des os longs.



- Ossification de membrane périostique

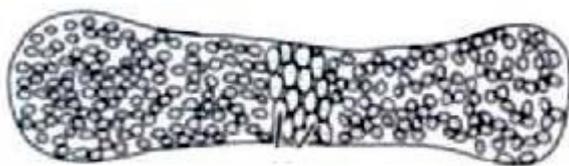
Celle-ci est responsable de la croissance des os en épaisseur et correspond à un type de croissance dit par apposition. Elle est due à des ostéoblastes qui, présents à la surface osseuse, sécrètent et disposent une matrice ostéoïde de la même manière que l'ossification de membrane.



2. Ossification endochondrale

Elle s'observe lors de la formation des os longs et assure leur croissance en longueur jusqu'à l'atteinte de l'âge adulte. Au sein d'un tissu mésenchymateux initial, se réalise une chondrogénèse, qui aboutit à la formation d'une ébauche squelettique constituée de cartilage de type hyalin. Celle-ci est entourée par un périchondre.

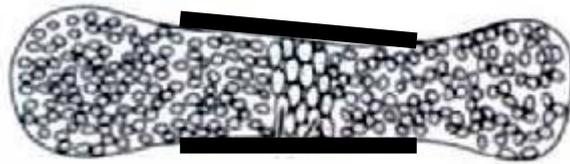
2.1 Ossification diphyssaire : Le début de l'ostéogénèse se manifeste au cours de la vie fœtale, par la mise en place d'un centre primaire d'ossification localisé au niveau de la région diaphysaire des ébauches.



Les chondrocytes du centre de la diaphyse **s'hypertrophient** (= leur volume augmente), et leur phénotype moléculaire se modifie.

- Les **chondrocytes hypertrophiques** sécrètent un **facteur angiogénique**

- La MEC qui entoure les chondrocytes hypertrophiques se calcifie, puis les **chondrocytes meurent**. Cette mort cellulaire produit **l'ébauche de la cavité médullaire des os**.



Les cellules mésenchymateuses à la périphérie du cartilage hypertrophique se différencient en ostéoblastes qui secrètent une mince couche **d'os périostique**



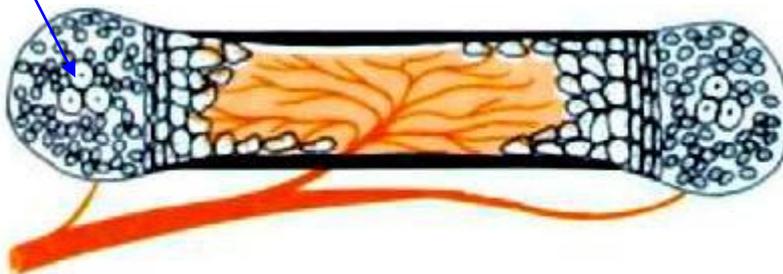
- Des **bourgeons conjonctivo-vasculaires**

- (1) traversent l'os périostique,
- (2) envahissent les espaces vacants du fait de la mort des chondrocytes hypertrophiques
- (3) forment un **centre d'ossification primaire** ou **centre d'ossification diaphysaire**

L'envahissement du cartilage calcifié par les bourgeons conjonctivo-vasculaires qui a débuté au centre de la diaphyse, se poursuit en direction des épiphyses.

2.2 Ossification épiphysaire

Centre d'ossification épiphysaire



Ce n'est qu'après la naissance qu'apparaissent, au niveau des épiphyses, des centres secondaires d'ossification. Les étapes d'ossification sont semblables à celles observées dans la diaphyse, mais à la différence de celle-ci, l'os réticulaire issu de l'ossification primaire subit un remodelage en tissu osseux lamellaire spongieux (os trabéculaire) et aucun canal médullaire ne se forme. Les étapes sont

- (1) Les cellules cartilagineuses épiphysaires s'hypertrophient,
- (2) Les épiphyses sont envahies par des bourgeons conjonctivo-vasculaires
- (3) Les épiphyses s'ossifient progressivement dans toutes les directions



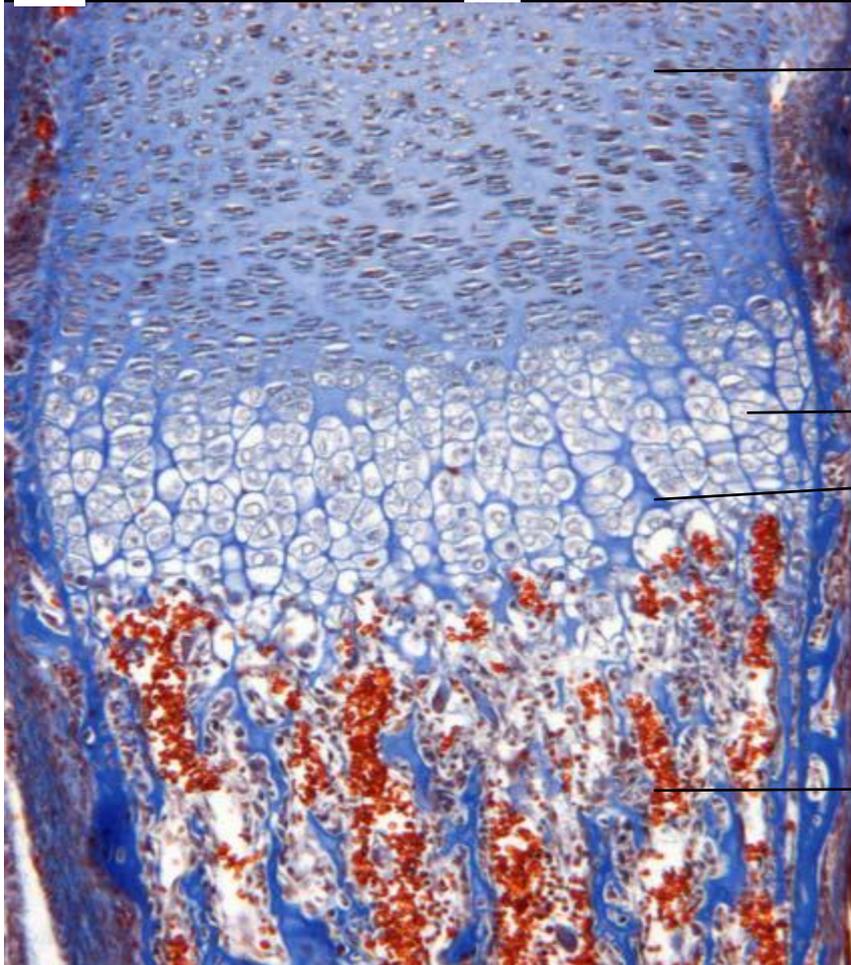
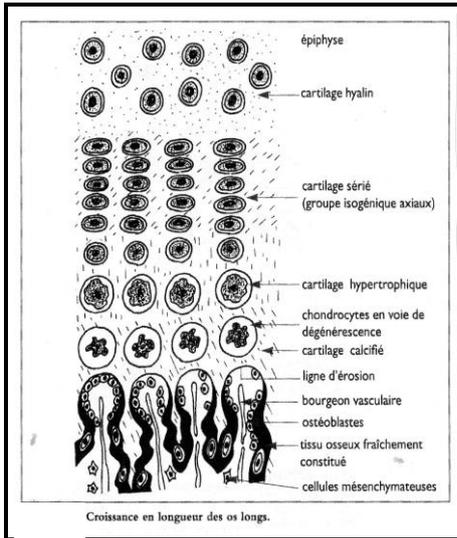
Entre chacune des épiphyses et de la diaphyse est localisée une zone cartilagineuse qui correspond à un site de croissance interstitielle garantissant l'élongation de l'os en formation. La disparition de ce cartilage dit de conjugaison et son remplacement par du tissu osseux se produit entre 17-18 ans chez la femme et 20-21 ans chez l'homme. Seuls subsistent les cartilages articulaires à l'extrémité de chacune des épiphyses.

L'ossification endochondrale et la croissance en longueur

Caractérise l'ostéogénèse des os courts et longs. L'os est précédé d'une maquette cartilagineuse. L'ossification se fait en profondeur d'abord, à partir de points d'ossification différents. En règle générale, il existe un point d'ossification primitif diaphysaire (c'est la première ossification à apparaître au cours de la vie embryonnaire) et deux points secondaires épiphysaires (apparaissent après la naissance, elle est retardée par rapport à l'ossification diaphysaire).

Le processus fondamentale de **l'ossification endochondrale** est le même que l'ossification endoconjonctive mais le phénomène est plus compliqué car la formation du tissu osseux s'accompagne par la destruction du tissu cartilagineux au niveau duquel s'effectue l'ossification primaire.

- Les chondrocytes se divisent activement, formant des groupes isogéniques axiaux. Il en résulte un accroissement de longueur dans cette zone appelé **cartilage sérié**
 - Les chondrocytes **s'hypertrophient**, leur cytoplasme accumule du glycogène et leur chondroplastes s'agrandissent au dépend de la matrice cartilagineuse.
 - Progressivement les chondrocytes dégénèrent et meurent. La matrice cartilagineuse **se calcifie**.
 - Des ostéoclastes et des chondroclastes détruisent le cartilage calcifié en formant des cloisons séparatives entre les chondroplastes d'un même groupe isogénique.
 - Pendant ce temps, les capillaires sanguins prolifèrent et pénètrent dans les chondroplastes vides et vacants. Ces bourgeons conjonctivo-vasculaires amènent avec eux des cellules **mésenchymateuses** indifférenciées, les unes se différencient en cellules hématopoïétiques et les autres en **ostéoblastes**, ces dernières se disposent à la surface de la matrice cartilagineuse calcifiée élaborent une couche de tissu osseux contre elle et ainsi le tissu osseux prend la place du tissu cartilagineux.
 - Cette ossification endochondrale à pour principale conséquence la croissance en longueur de l'os. Lorsque tout le cartilage a été remplacé par du tissu osseux, la croissance en longueur est définitivement terminée : elle correspond à la fin de la puberté.
- En fin de croissance, le cartilage de **cartilage de conjugaison** disparaît par soudure de la zone d'ossification diaphysaire et épiphysaire.

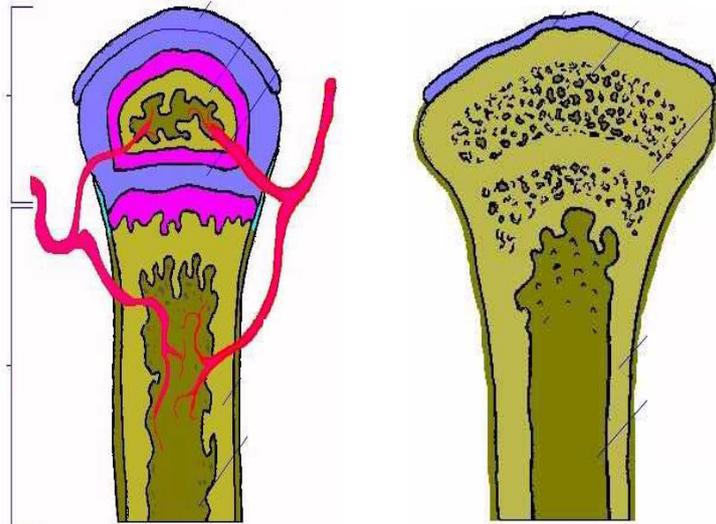


**Z. de réserve
(cartilage hyalin)**

Z. hypertrophique

Z. calcifiée

**Bourgeons
conjontivo
vasculaires**



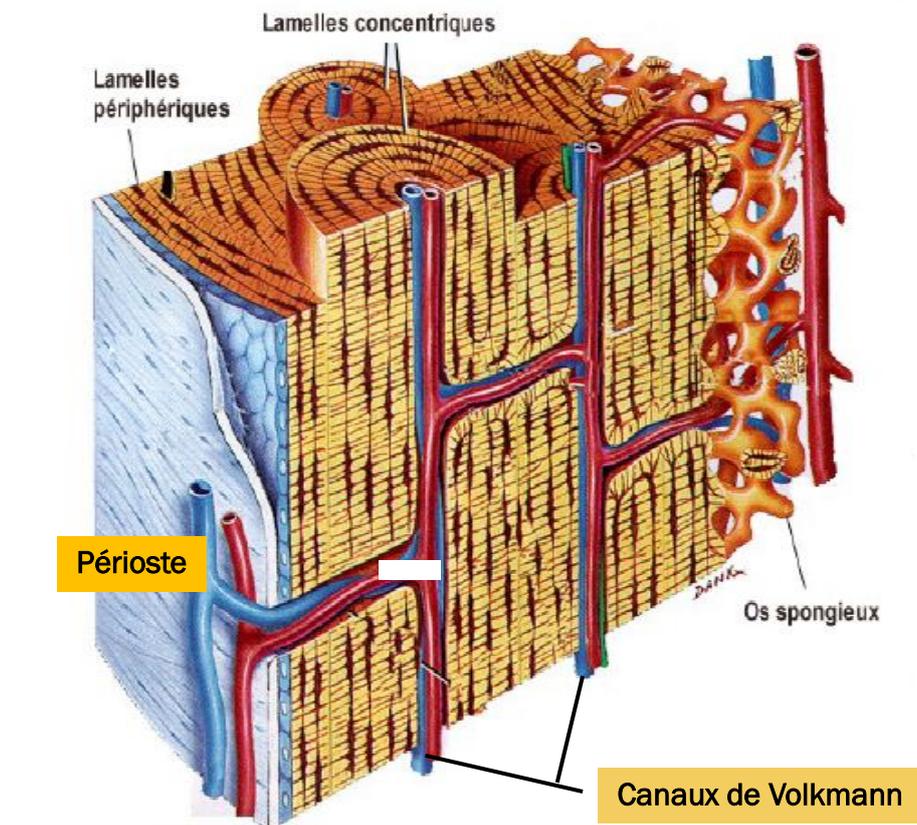
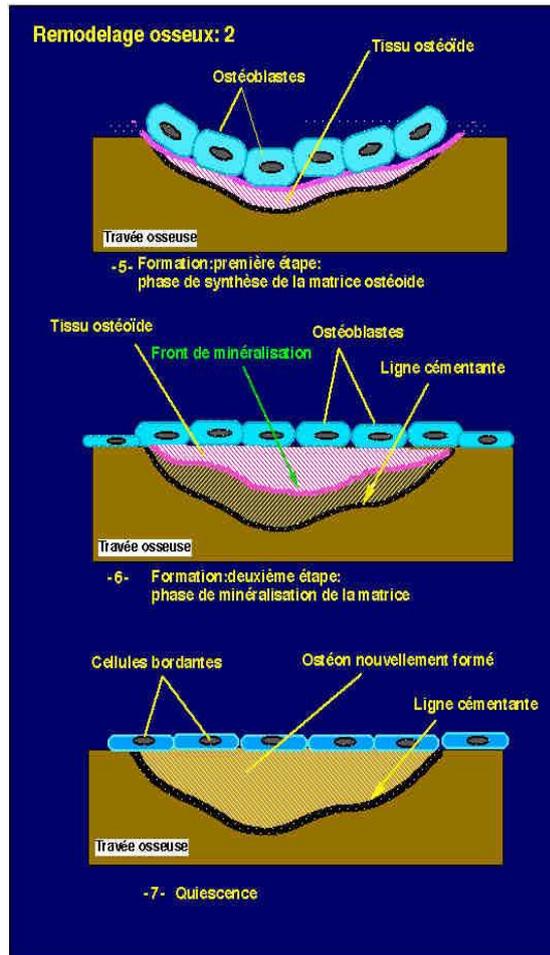
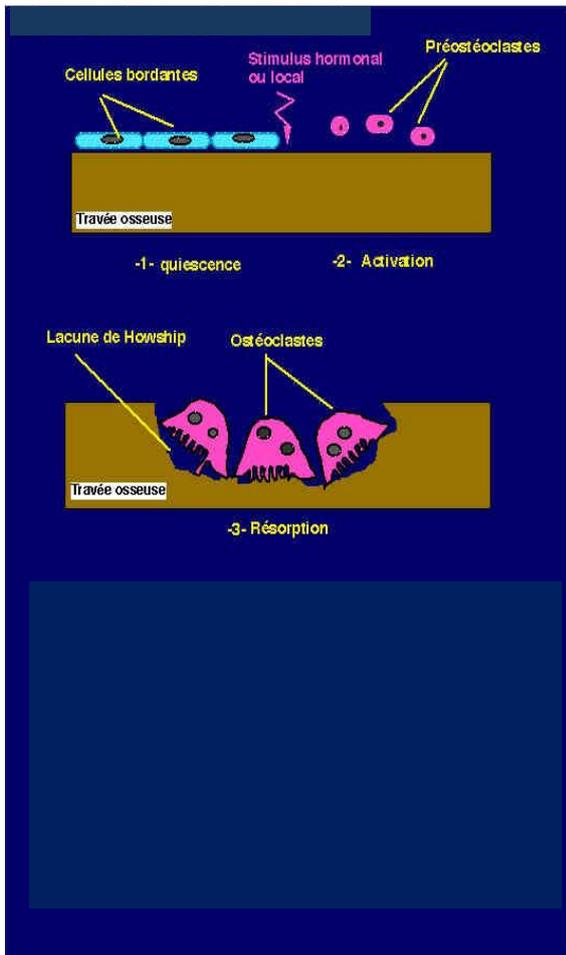
Vers 20-21ans, les cartilages de conjugaison cessent d'être actifs. Epiphyses et diaphyses fusionnent alors, rendant impossible allongement ultérieur des os. La croissance du corps est alors achevée.

2- L'ossification secondaire

Cette ossification s'effectue à partir de tissus osseux préexistant primaire pour le remplacer par un nouveau tissu osseux plus rigide. En effet, durant celle-ci, les tissus osseux demeurent sous un état dynamique, en étant soumis à un remodelage constant basé sur un enjeu caractérisée par la combinaison de deux mécanismes équilibrés : une destruction ostéoclasique suivie par un processus constructif dont les ostéoblastes sont responsables. Elle est régulée par des facteurs hormonaux. La destruction du tissu osseux et sa reconstruction sont stimulées par plusieurs hormones PTH, de croissance, œstrogènes et la vit D en favorisant la production de la masse osseuse. Les deux phénomènes se manifestent tout au cours de la vie.

- Les hormones influent profondément sur la croissance et la maintenance de l'os
- L'hormone de croissance synthétisée par l'hypophyse antérieure est indispensable à la croissance normale en stimulant la prolifération et la différenciation des ostéoblastes.
- Le manque d'hormone de croissance a pour résultat le **nanisme**.
- Une production excessive entraîne le **gigantisme**.
- L'hormone parathyroïdienne PTH règle la résorption de l'os et contrôle la libération du calcium dans le sang.
- L'hormone calcitonine inhibe l'activité de résorption.

L'ossification secondaire forme un os spongieux ou compact lamellaire. Elle ne modifie pas le schéma architectural général établi par l'ossification I^{aire} mais elle remanie complètement la structure du tissu osseux.



- *Alan Stevens, James Steven Lowe (2006). **Histologie humaine** (3e Ed), Elsevier.*
- *Jean-Pierre Dadoune et coll. (2007). **Histologie** (2^e Ed), Médecine Sciences Flammarion.*
- *Jacques Poirier, Martin Catala, et coll. (2006). **Histologie: Les tissus** (3e Ed), masson*
- *Jacques Poirier et coll. (1999). **Histologie moléculaire: Texte et atlas**, Masson.*
- *Jean Fourcier 2014. **Histologie PACES UE2***