

L'OSSIFICATION

Se déroule en plusieurs étapes :

➤ Ossification primaire:

-à partir d'un tissu conjonctif (ossification de membrane)
-à partir d'une ébauche cartilagineuse (cartilage hyalin)
(ossification endochondrale)

- Ossification secondaire: à partir d'un tissu osseux déjà constitué (os primaire)
- Ossification tertiaire : chez l'adulte. Correspond au remodelage osseux permanent

MOTS CLES

Ossification primaire
Ossif. endomembranaire
Ossification enchondrale
Ossification secondaire
Ligne d'ossification
Centre d'ossification
Cartilage série
Cartilage hypertrophié
Cartilage de conjugaison
Lacune de Howship

A)- OSSIFICATION PRIMAIRE:

Les mécanismes d'ossification primaire sont ceux permettant la fabrication d'un nouveau tissu osseux de type réticulaire

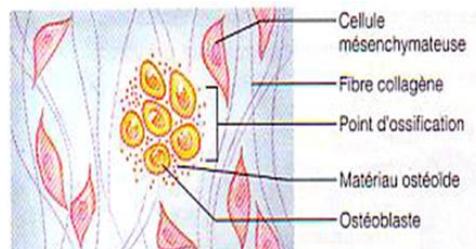
1)- Ossification de membrane ou endomembranéeuse:

le processus:

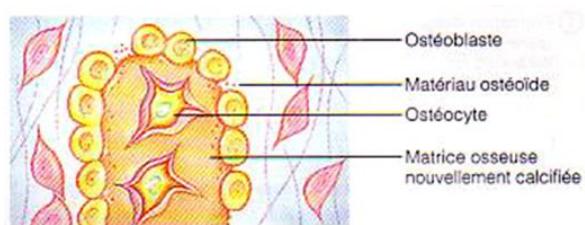
A partir du tissu conjonctif, les fibroblastes (ou cellules mésenchymateuses) se différencient en ostéoblastes, qui élaborent une substance pré-osseuse (ostéoïde), rapidement minéralisée.

Les ostéocytes s'entourent ainsi de matrice osseuse au sein de travées osseuses plus ou moins anastomosées (os primaire primitif non lamellaire).

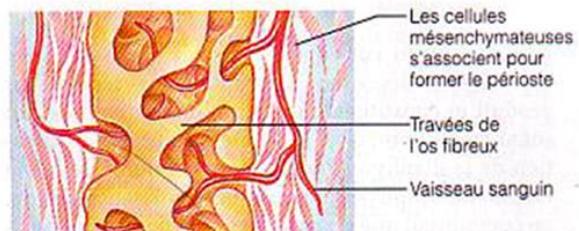
Le lamérisation de ces travées par réabsorption ostéoclastique puis par reconstruction, aboutissent ultérieurement à la constitution d'os spongieux (voir ossification secondaire).



① Un point d'ossification apparaît à l'intérieur de la membrane de tissu conjonctif fibreux.



② Une matrice osseuse est sécrétée dans la membrane.



③ L'os fibreux et le périoste se forment.

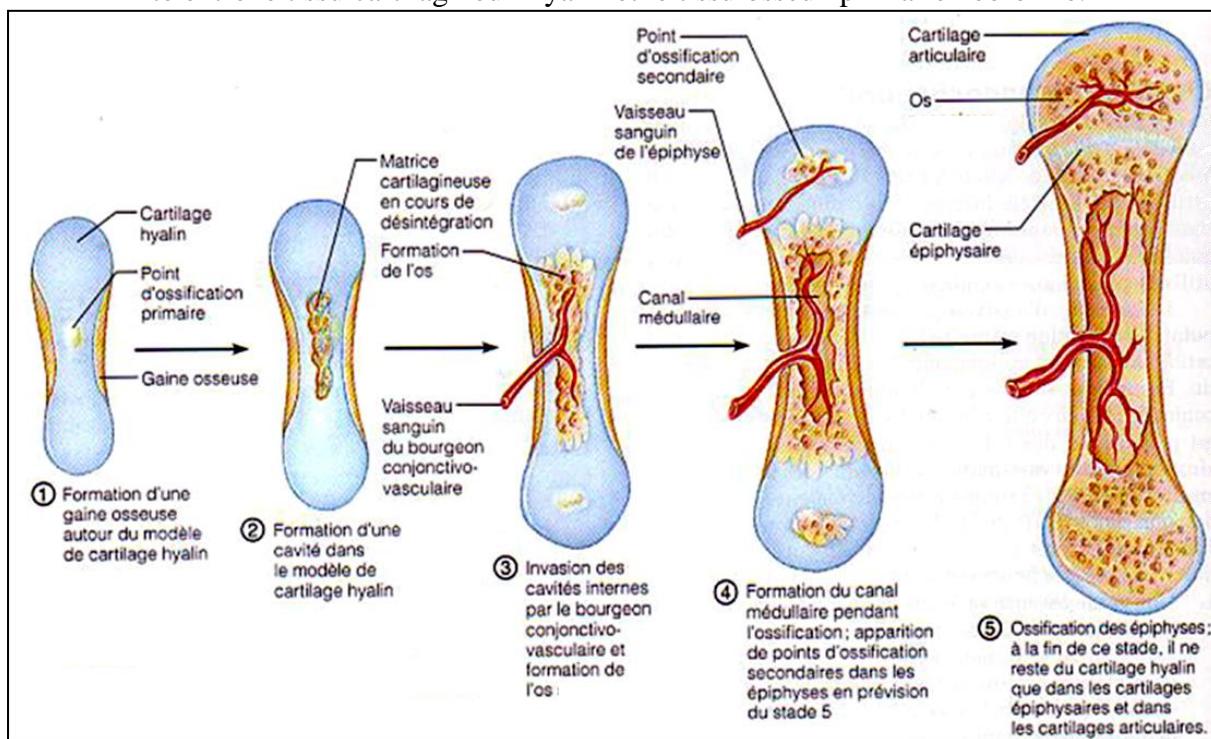
2)-Ossification endochondrale:

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 métaphyshe et l'épiphyshe des os longs)

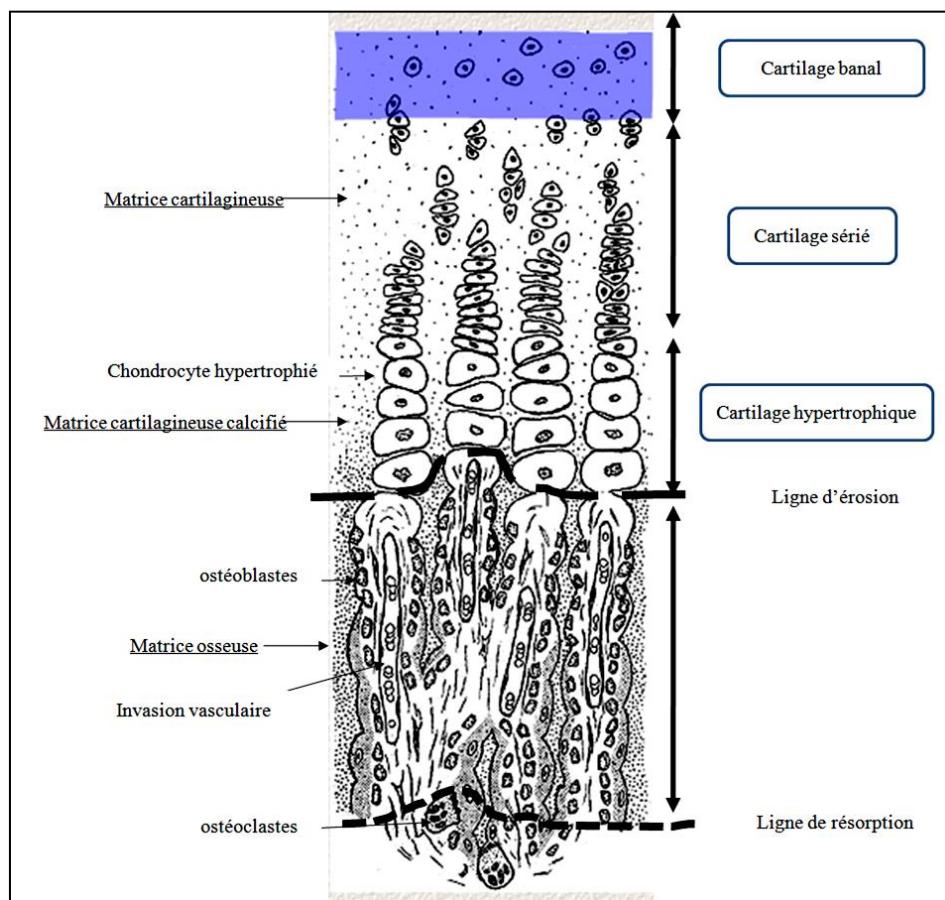
Processus:

- **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 **pré-ostéoblastes**.
 - **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. Il existe alors une **ligne d'ossification** très nette à la limite entre le tissu cartilagineux hyalin et le tissu osseux primaire néoformé.



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).

- **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.
- **Au niveau des deux métaphyses**, face à la ligne d'ossification :
 - le cartilage hyalin a subi une **réorganisation** permettant de distinguer :
 - ✓ une **zone de réserve de cartilage banal (dit aussi basal)**
 - ✓ une **zone de cartilage sérié**, où les chondrocytes se disposent en groupements isogéniques axiaux (perpendiculaire à la ligne d'ossification)
 - ✓ une **zone de cartilage hypertrophique**.
 - Entre les chondrocytes, les travées cartilagineux deviennent progressivement plus minces, irréguliers et se chargent de calcium.
 - Au niveau de la ligne d'ossification (**ligne d'érosion**), le cartilage est en contact avec des axes conjonctivo-vasculaires qui pénètrent les logettes cartilagineuses (chondroplastes vidés de leur chondrocyte). Les pré-ostéoblastes se différencient alors en ostéoblastes qui élaborent de la matrice osseuse et contribuent à sa minéralisation.
 - Ce processus aboutit à la formation de travées d'un **os primaire**, bordées en périphérie d'ostéoblastes et contenant dans leur épaisseur des ostéocytes.
 - A distance de la ligne d'ossification, des ostéoclastes (voir ossification secondaire) viennent rapidement résorber l'os primaire (**ligne de résorption**)



Remarque: après la puberté, les chondrocytes arrêtent de se multiplier, les cartilages de conjugaison disparaissent: la croissance est terminée.

B - L'OSSIFICATION SECONDAIRE :

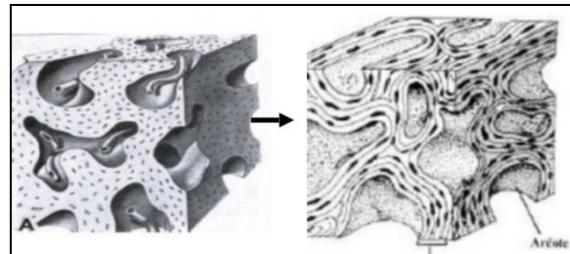
Les mécanismes d'ossification secondaire correspondent aux phénomènes aboutissant à la laméllisation osseuse par succession de résorption ostéoclastique et de reconstruction osbléoblastique.

Ils permettent le remplacement d'un tissu osseux préexistant (issu de l'ossification primaire : os non lamellaire, primitif, primaire, immature) par un nouveau tissu osseux de type lamellaire (secondaire, mature) qui peut être de 2 types:

1) le tissu osseux spongieux = Trabéculaire ou aréolaire

a) localisation:

Epiphyse et métaphyse des os longs
Partie médullaire (interne) des os plats et des os courts.



b) Processus :

L'ossification secondaire par laméllisation osseuse, donnera l'aspect de l'os spongieux avec plusieurs cavités médullaires.

2) le tissu osseux compact = Haversien

a) localisation:

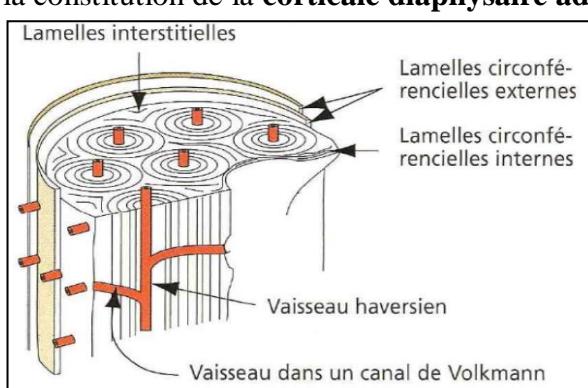
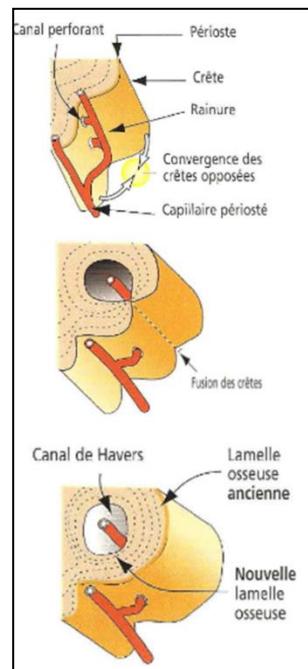
Diaphyse des os longs
partie corticale (externe) des os plats et des os courts

b) Processus:

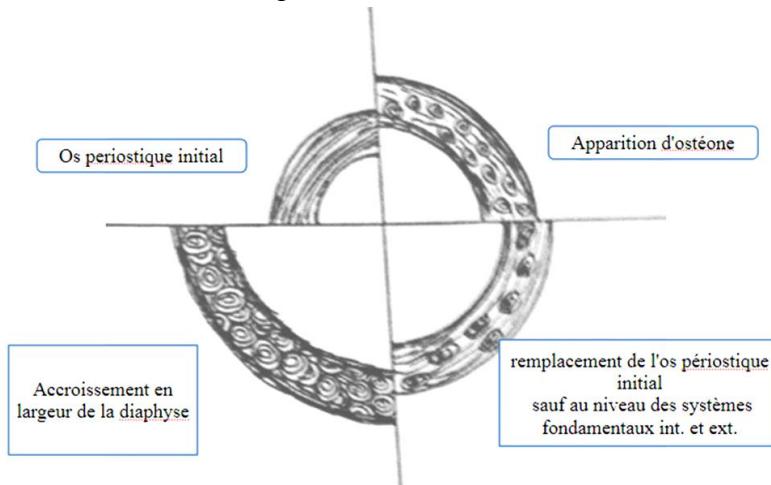
L'ossification secondaire importante surtout au niveau de la corticale diaphysaire (issue de la virole osseuse périostique), suite à la laméllisation osseuse, on remarque une organisation des lamelles sous forme **concentrique**

Donnant le modèle connu de l'os compact formé des Ostéones, des premiers systèmes de Havers, des Canaux de Havers, des Canaux de Volkmann, des Systèmes interstitiels, des Systèmes circonférentiels externe et interne.

La répétition de ce processus dans le cadre de l'ossification secondaire, puis tertiaire aboutit à la constitution de la **corticale diaphysaire adulte**.



remarque: ossification périostique: au niveau du périoste des os long, pendant la croissance de l'enfant assure une croissance en épaisseur des os.

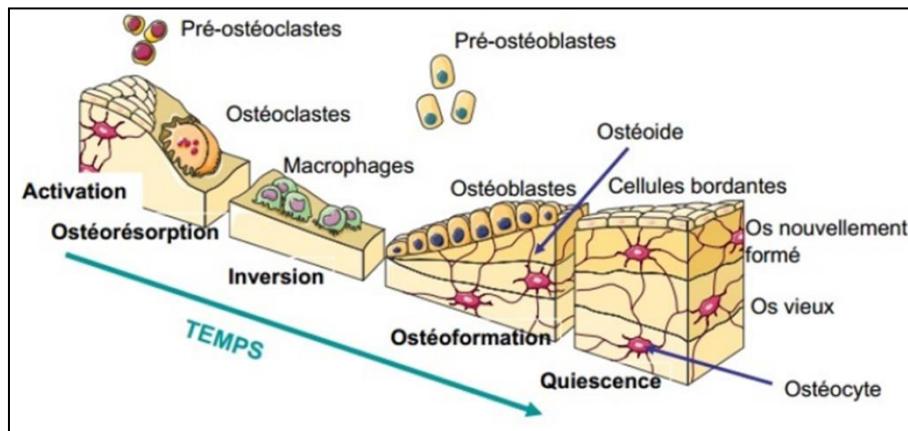


C. OSSIFICATION TERTIAIRE OU REMODELAGE OSSEUX

Comprend l'ensemble des mécanismes modifiant la structure des os lamellaires par destruction puis resynthèse osseuse, permettant l'adaptation du squelette :

- A la croissance
- Au maintien de l'équilibre phosphocalcique
- Aux nouvelles contraintes mécaniques qui peuvent apparaître au cours de la vie (augmentation du poids, conditions de travail particulières)

1) Le remodelage comporte 4 phases:



1. Activation:
 - a. Différenciation des pré ostéoclastes en ostéoclastes
 - b. Rétraction des cellules bordantes, ce qui libère l'accès à la surface osseuse pour les ostéoclastes
2. Ostéorésorption:
 - a. Fixation des ostéoclastes à la MEC, grâce à un système d'ancrage particulier= podocytes.

- b. Cet anneau périphérique de scellage aboutit à l'isolement d'une chambre étanche = lacune de howship, entre la membrane plasmique de l'ostéoclaste et la surface de la MEC osseuse
- c. Sécrétion par les ostéoclastes de:
 - Proton H⁺ : acidification du milieu
 - Enzymes lytiques: Collagénase , Métaloprotéinase , Phosphatase acide, Cathepsine Ces molécules sont libérées dans la lacune de howship et entraînent la dégradation de la MEC osseuse

3. Inversion:

- a. Mort des ostéoclastes par apoptose
- b. Remplacement par des macrophages qui viennent nettoyer les débris

4. Ostéoformation du tissu osseux :

- a. Apposition de cellules ostéoprogénitrices contre la MEC
- b. Division et différenciation de ces cellules en ostéoblastes
- c. Synthèse d'une MEC non minéralisée (ostéoïde)
- d. Minéralisation de la MEC
- e. Cristallisation de la MEC en hydroxyapatite (une fois la saturation en Calcium et phosphatase atteinte)

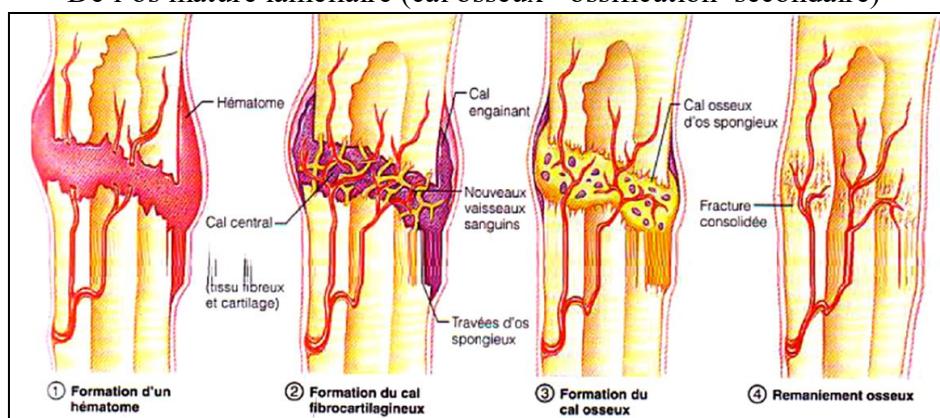
5. Repos ou quiescence

2) Réparation après une fracture:

Au niveau de la fracture, on observe une destruction tissulaire et une hémorragie (hématome) qui attirent sur place des granulocytes neutrophiles et des macrophages pour le nettoyage des débris tissulaires.

La zone lésée sera comblée successivement par:

- Du tissu conjonctif
- Du tissu cartilagineux
- De l'os immature (ossification primaire)
- De l'os mature lamellaire (cal osseux =ossification secondaire)



3) Capital osseux et perte osseuse:

Jusqu'à l'âge de 20-21ans, la masse osseuse augmente, puis elle reste stable pendant plusieurs années, et elle diminue ensuite régulièrement avec l'âge.

L'ostéoporose: diminution de la masse osseuse/ augmentation des capacités de résorption osseuse.