

## L'Ossification

**I-Définition :** L'ostéogénèse est un terme très général qui englobe non seulement l'ensemble des processus responsables de la **construction** d'une pièce osseuse (histogénèse), mais aussi la **croissance** et les **remaniements** du tissu osseux.

Quel que soit le type de tissu osseux obtenu (lamellaire ou non lamellaire), on distingue **04 étapes** :

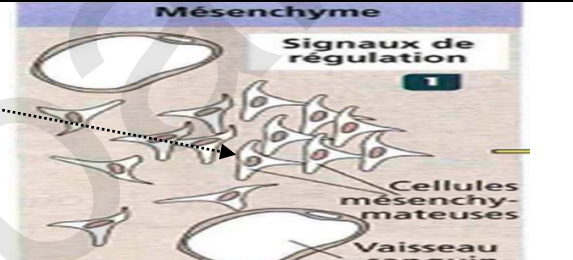
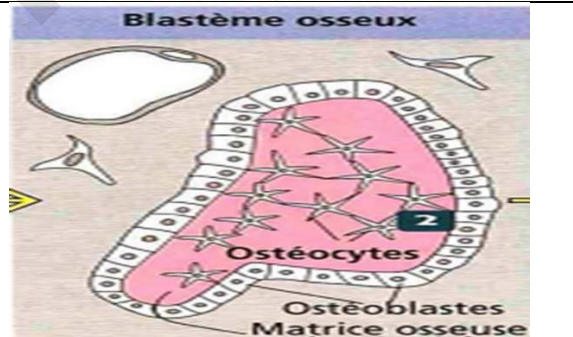
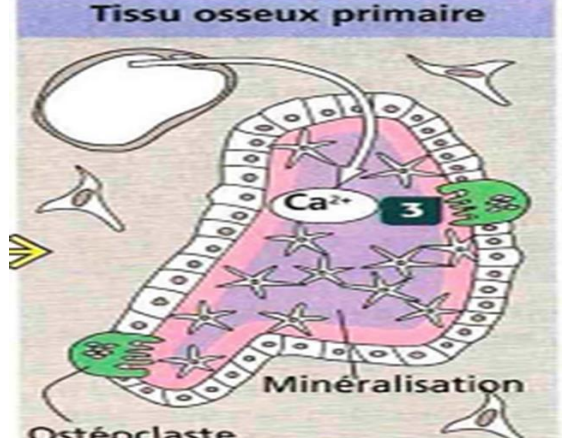
- La différenciation des ostéoblastes à partir des cellules souches.
- La sécrétion par les ostéoblastes de la matrice organique.
- La minéralisation de la matrice organique.
- L'arrivée des ostéoclastes.

On distingue :

**1-Ossification primaire :** L'ossification primaire est une ossification qui se déroule dans un **modèle conjonctif ou cartilagineux** et qui produit un tissu osseux immature (tissu osseux fibreux) dont l'existence est temporaire : elle n'est pas précédée par le remaniement de tissu osseux préexistant.

**A-Ossification de membrane (endomembraneuse):** Le modèle est le plus souvent une **lame de tissu conjonctif**. C'est une étape essentielle de l'ostéogénèse des os du crâne (os frontal, temporal, occipital). Elle participe à la croissance des os courts et à l'augmentation de diamètre des os longs (ossification périostique).

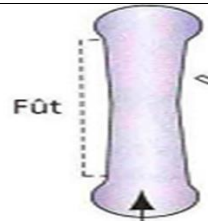
Ce mécanisme se déroule selon la séquence suivante :

<p>1- Les <b>cellules mésenchymateuses</b> s'agrègent sans cartilage intermédiaire. Ce processus est contrôlé par des <b>signaux de régulation</b> (facteur de croissance des fibroblastes, ex :Ihh.).</p>	 <p>Mésenchyme Signaux de régulation 1 Cellules mésenchymateuses Vaisseau sanguin</p>
<p>2- Les cellules mésenchymateuses <b>se différencient</b> en <b>ostéoblastes</b>. Un blastème osseux se constitue. Au centre de ce <b>blastème</b>, les <b>ostéocytes</b> sont reliés entre eux par leurs prolongements cellulaires formant un syncytium fonctionnel. Les ostéoblastes revêtent le blastème osseux en surface.</p>	 <p>Blastème osseux 2 Ostéocytes Ostéoblastes Matrice osseuse (ostéoïde)</p>
<p>3- La <b>matrice osseuse</b> (ostéoïde) est déposée, par les ostéoblastes. Dans un second temps, le processus de minéralisation utilise du <b>Ca<sup>++</sup></b>, transporté par les vaisseaux sanguins, aboutissant à la formation du <b>tissu osseux primaire</b>. Les <b>ostéoclastes</b> initient le remodelage du tissu osseux.</p>	 <p>Tissu osseux primaire 3 Ca<sup>++</sup> Minéralisation Ostéoclaste</p>

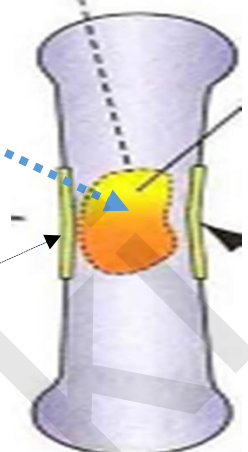
**B-Ossification endochondrale ou cartilagineuse :** C'est l'ossification de tous les os longs, des vertèbres et d'une grande partie de la base du crâne. L'ossification se fait à partir d'une **maquette de cartilage hyalin**. L'ossification se fait en **profondeur** d'abord, à partir de **points d'ossification** différents. En règle générale, il existe **un point d'ossification primitif diaphysaire** et **deux points secondaires épiphysaires**, associés à un ou plusieurs points complémentaires. Au niveau des cartilages de conjugaison métaphysaire des os longs: la croissance en longueur des os est assurée par le **cartilage de conjugaison** qui est situé entre la métaphyse et l'épiphyse d'un os long.

## I- Centre d'ossification primaire

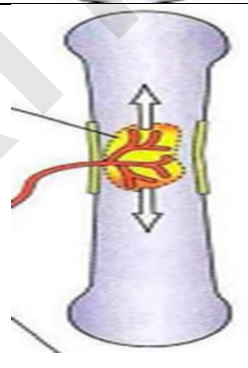
1-Du **cartilage hyalin** constitue le **modèle** d'un os long.



2- La prolifération des chondrocytes, suivie par leur hypertrophie à la partie médiane de la diaphyse, initie la formation du **centre d'ossification primaire**. Les chondrocytes hypertrophiques sécrètent le **facteur de croissance endothélial vasculaire** pour induire la croissance de vaisseaux sanguins à partir du périchondre. La calcification de la matrice et l'**apoptose** des **chondrocytes hypertrophiques** surviennent ensuite.



3- Le périchondre se transforme en périoste. Les cellules ostéoprogénitrices du périoste par mécanisme ossification primaire endomembranaire formeront une **gaine osseuse « virole périostique »**.



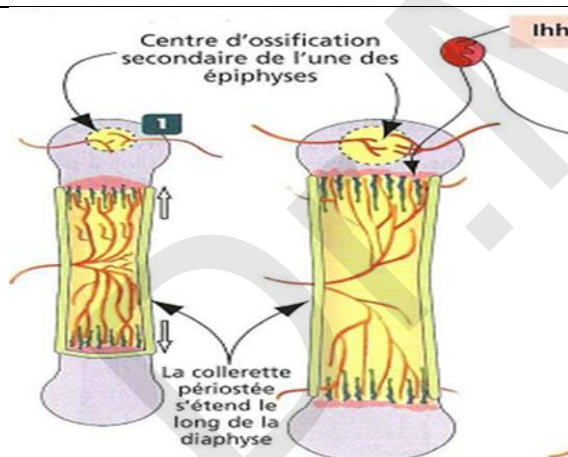
4- Des vaisseaux sanguins, formant le bourgeon périosté, se ramifient dans des directions opposées ramenant des cellules mésenchymateuses et ostéoprogénitrices qui se différencient en ostéoblastes.

En résumé :

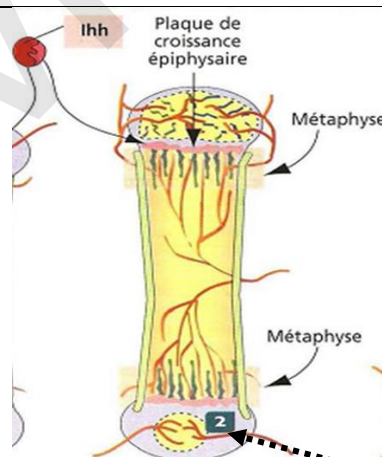
**Périoste** : Cellules mésenchymateuses → ostéoblastes : Début de l'ossification par formation de la gaine osseuse.

**Centre d'ossification primaire** : Cellules mésenchymateuses et ostéoprogénitrices : Formation de travées osseuses primaires dans la diaphyse.

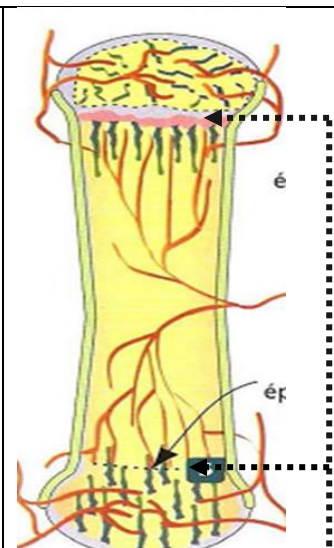
**II- Centres d'ossification secondaires** : Au niveau des **deux épiphyses**, la pénétration vasculaire, induit la formation de deux centres d'ossification épiphysaire suivant les **mêmes étapes précédemment** décrites aboutissant à la constitution d'un os primaire au niveau des deux épiphyses.



1- Des vaisseaux sanguins et du mésenchyme infiltrent l'épiphyse et un centre d'ossification secondaire se constitue. (Ihh=Facteur de croissance)

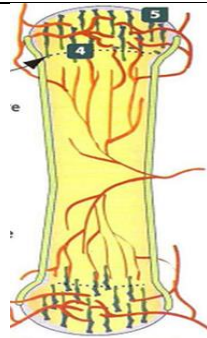


2- Un centre **d'ossification secondaire** identique apparaît dans l'épiphyse opposée.



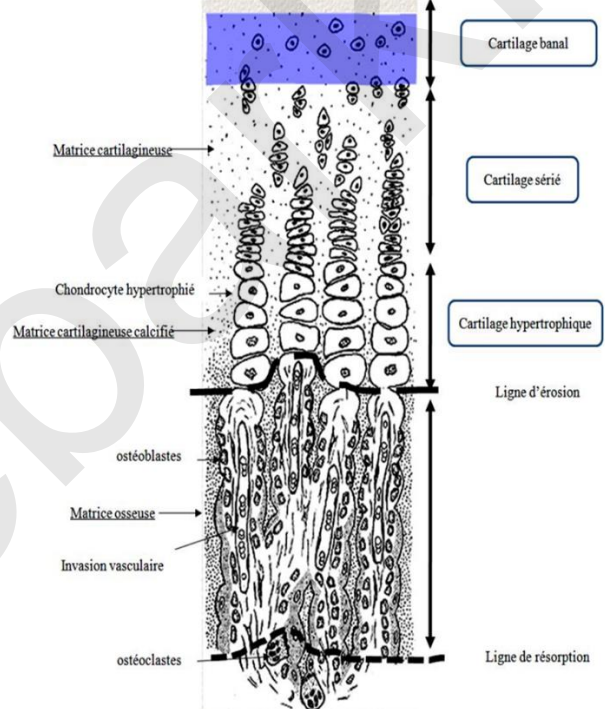
3- La **plaque épiphysaire** (ou cartilage de conjugaison) a été remplacée par une ligne épiphysaire. Ce phénomène se déroule **progressivement**, de la **puberté à l'âge adulte** ; par la suite, l'os long **ne peut plus croître en longueur**.



<p>4- Les vaisseaux sanguins provenant de la diaphyse et des épiphyses <b>se connectent</b>.</p> <p>5- L'ensemble du cartilage épiphysaire est <b>remplacé</b> par de l'os, excepté au niveau de <b>la surface articulaire</b>.</p>	
---	---

### LE CARTILAGE DE CONJUGAISON :

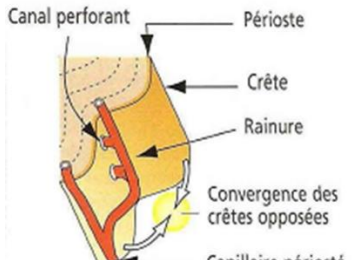
A la fin de la phase d'ossification primaire, subsiste une zone de cartilage entre l'épiphyse et la diaphyse : c'est le cartilage de conjugaison ou cartilage de croissance ; qui n'est fertile que sur sa face diaphysaire, après la puberté, les chondrocytes arrêtent de se multiplier, les cartilages de conjugaison disparaissent : la croissance est terminée.

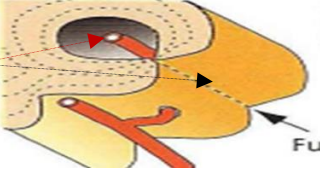
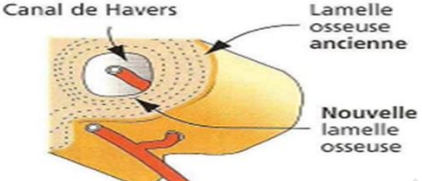

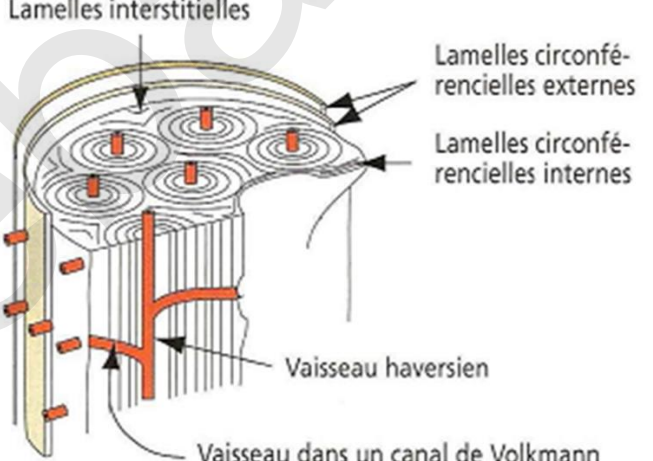
<p>On notera les phénomènes suivants :</p> <p>1- le cartilage hyalin a subi une réorganisation permettant de distinguer :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Une zone de <b>réserve de cartilage basal</b>.</li> <li>* Une zone de cartilage sérié : les chondrocytes forment des groupements <b>isogéniques axiaux</b>.</li> <li>* Une zone de cartilage <b>hypertrophique</b>.</li> </ul> <p>2- Entre les chondrocytes, les travées cartilagineuses deviennent progressivement plus minces, irrégulières et se <b>chargent de calcium</b>.</p> <p>3- Au niveau de la ligne d'ossification (<b>ligne d'érosion</b>), les axes conjonctivo-vasculaires pénètrent les logettes cartilagineuses vides. Les pré-ostéoblastes s'y différencient en <b>ostéoblastes</b>, qui déposent la matrice osseuse et participent à <b>sa minéralisation</b>.</p> <p>4- Ce processus aboutit à la formation de travées d'un <b>os primaire</b>, bordées en périphérie d'ostéoblastes et contenant dans leur épaisseur des ostéocytes.</p> <p>5- A distance de la ligne d'ossification, des <b>ostéoclastes</b> viennent rapidement résorber l'os primaire « <b>ligne de résorption</b> ».</p>	 <p>Le cartilage de conjugaison</p>
--	--

**2- L'ossification secondaire :** Les mécanismes d'ossification secondaire correspondent aux phénomènes aboutissant à **la laméllisation osseuse** par succession de résorption ostéoclastique et de reconstruction ostéoblastique. Permettant ainsi le remplacement d'un tissu osseux préexistant (issu de l'ossification primaire : os **non lamellaire** : primaire ou immature) par un nouveau tissu osseux de type **lamellaire** (secondaire, mature) qui peut être de 2 types:

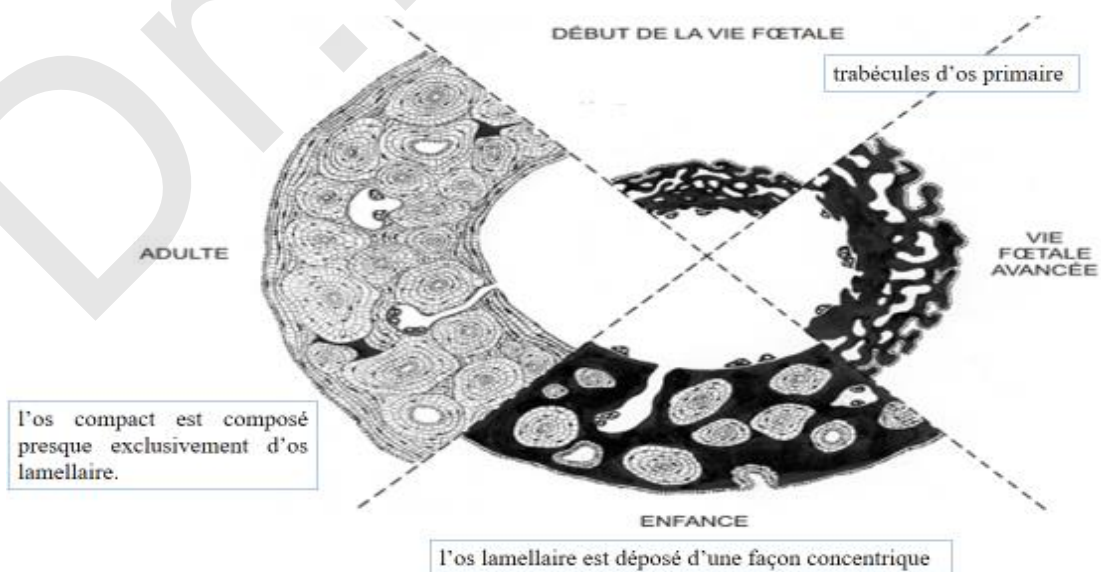
**A- Le tissu osseux spongieux (Trabéculaire ou aréolaire):** Concerne l'épiphyse et métaphyse des os longs ainsi que la partie médullaire (interne) des os plats et des os courts. L'ossification secondaire par laméllisation osseuse, donnera l'aspect de l'os spongieux avec plusieurs cavités médullaires.

**B- Le tissu osseux compact :** Se localise la diaphyse des os longs et la partie corticale (externe) des os plats et des os courts.

<p>1- Un nouveau système haversien se développe sous le périoste. Des <b>crêtes</b> longitudinales se forment le long de la diaphyse et les cellules du périoste se <b>différencient en ostéoblastes</b>. On voit un capillaire périoste dans la rainure. L'os nouvellement synthétisé aboutit au <b> rapprochement de deux crêtes voisines</b>.</p>	
--	--

<p>2- <b>Les crêtes fusionnent</b> et la rainure devient un tunnel emprisonnant le <b>vaisseau sanguin</b>.</p>	
<p>3- De <b>nouvelles lamelles</b> osseuses se déposent autour du tunnel qui <b>se transforme</b> en <b>canal haversien</b> contenant un vaisseau sanguin.</p>	
<p>4- Le vaisseau haversien continue à recevoir du sang par l'intermédiaire des <b>canaux de Volkmann</b> à travers la diaphyse. Remarquez les lamelles concentriques entourant le vaisseau haversien. De nombreux systèmes haversiens se forment par croissance appositionnelle, aboutissant <b>à l'élargissement</b> du fût de l'os. La cavité médullaire s'élargit en parallèle.</p>	
<p>5- Lorsque l'os a atteint sa taille définitive, les lamelles circonférentielles externes et internes constituent les limites de l'os compact constitué de systèmes haversiens. On trouve des lamelles interstitielles entre les systèmes haversiens. Les lamelles interstitielles représentent les résidus des systèmes haversiens préexistants remplacés par de nouveaux systèmes haversiens lors du remodelage.</p>	

#### Quatre stades de la croissance de l'os



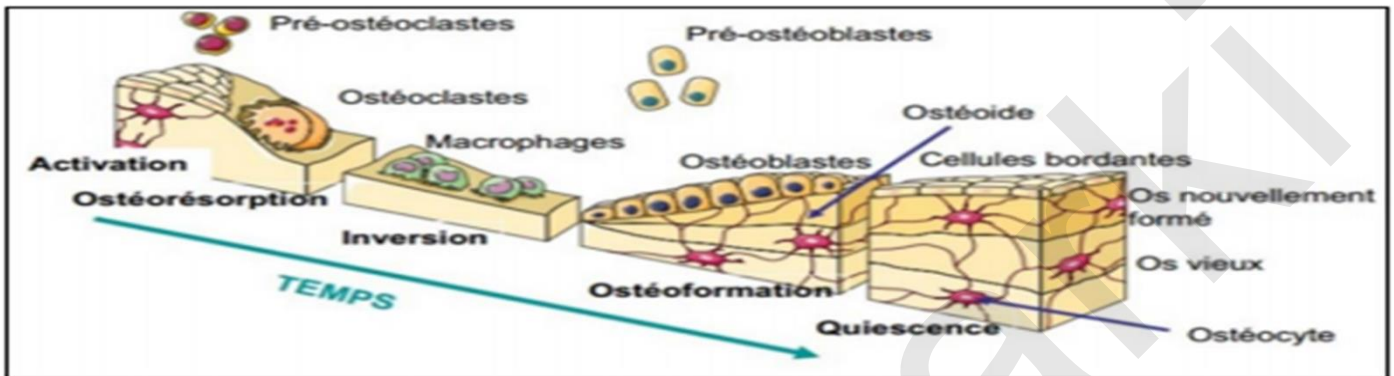
**Ossification tertiaire (remodelage osseux) :** Comprend l'ensemble des mécanismes modifiant la structure des os lamellaires par destruction puis resynthèse osseuse, permettant l'adaptation du squelette :

- 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).

#### A- Le remodelage comporte 4 phases :

##### 1. Activation :

- Différenciation des pré-ostéoclastes (cellule issue du mésenchyme) en ostéoclastes.
- Rétraction des cellules bordantes, ce qui libère l'accès à la surface osseuse pour les ostéoclastes.



#### 2. Ostéorésorption:

- Fixation des ostéoclastes à la MEC, grâce à un système d'ancrage particulier (les podocytes) .
- Cet anneau périphérique de scellage aboutit à l'isolement d'une chambre étanche entre la membrane plasmique de l'ostéoclaste et la surface de la MEC osseuse « **lacune de Howship** ».
- Sécrétion par les ostéoclastes de: § Proton  $H^+$  : **acidification du milieu** § **Enzymes lytiques**: Collagénase, Métalloprotéinase , 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

- Remplacement par des macrophages qui viennent nettoyer les débris

#### 4. Ostéoformation du tissu osseux :

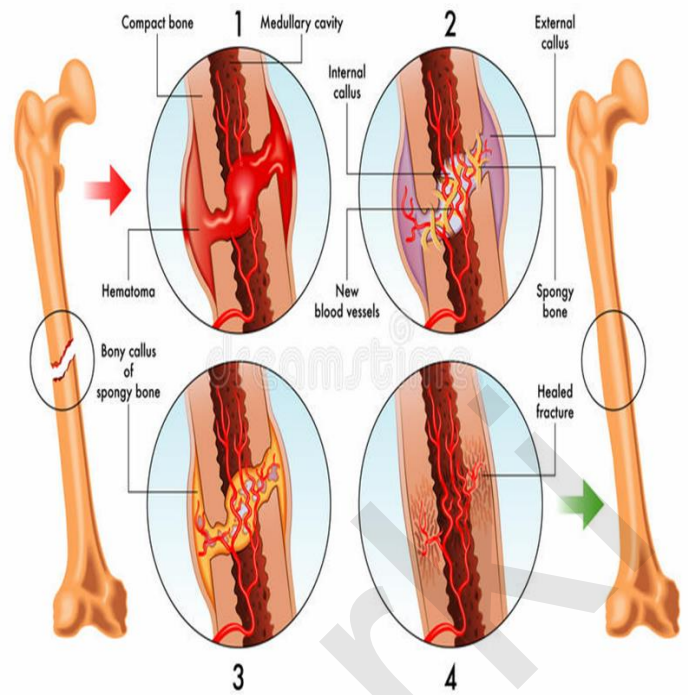
- Apposition de cellules ostéoprogénitrices contre la MEC
- Division et différenciation de ces cellules en ostéoblastes
- Synthèse d'une MEC non minéralisée (ostéoïde)
- Minéralisation de la MEC
- Cristallisation de la MEC en hydroxyapatite

#### 5. Repos ou quiescence



**B- 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).



### C- 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.

#### Référence bibliographique :

- Abraham L. KIERSZENBAUM ; Histologie et Biologie cellulaire.
- G. Tachdjian ; Cours UE 2 La cellule et les tissus.
- J. Poirier ; Histologie les tissus.
- J-P Dadoune ; Histologie de la biologie à la clinique.
- Marc Maillet ; Les tissus de soutien.