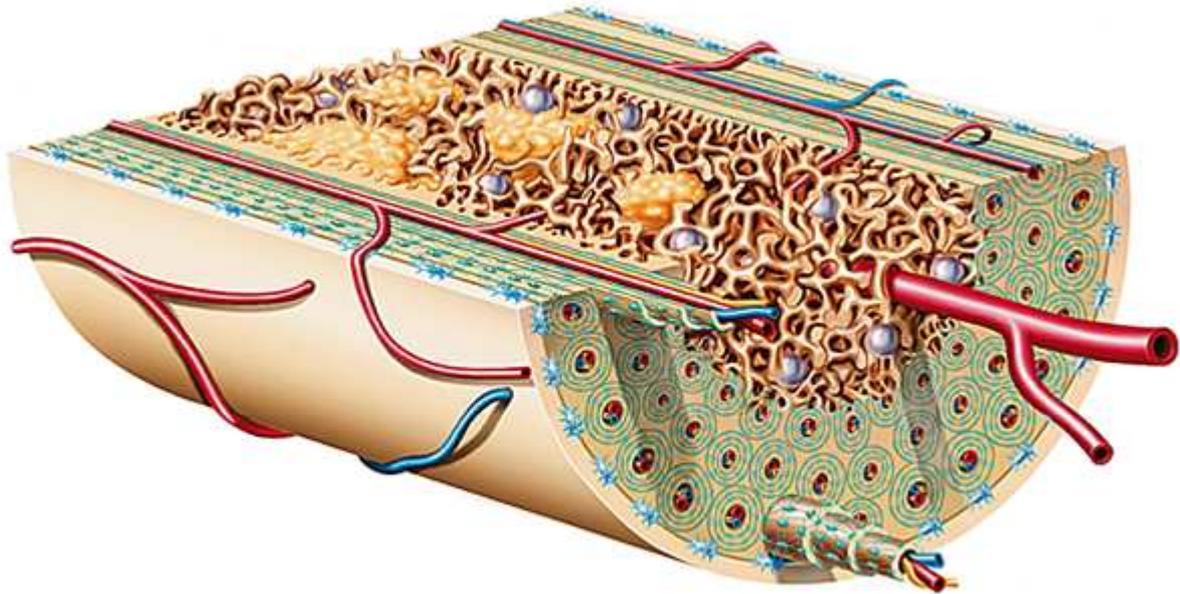


# LE TISSU OSSEUX



## I) Généralités

### 1) Constitution de l'appareil squelettique :

- **Tissu osseux : 25%**
  - **Tissus mous associés**
    - o *Moelle osseuse : 60%*
    - o *Tissu conjonctif d'accompagnement des vaisseaux : 5%*
    - o *Cartilage articulaire*
    - o *Périoste*
    - o *Endoste*
- } **10%**

### 2) Définition du tissu osseux

Le tissu osseux est un tissu conjonctif au sens large, composé :

- D'ostéocytes (cellules dispersées)
- D'une composante extra-cellulaire (GAG)
- De fibres de collagène **type I**

La **substance fondamentale** est imprégnée par une combinaison phosphocalcique, minéralisée donc très dure.

### 3) Propriétés

- **Mécaniques**
  - o Soutien
  - o Protection
  - o Elasticité limitée : perpétuels remaniements.
- **Réserve**
  - o Calcium → homéostasie calcique
  - o Phosphates

## II) Structure histologique

### 1) Texture – structure interstitielle

#### a. Le tissu osseux primaire : non lamellaire

C'est le 1<sup>er</sup> os formé : majeure partie du squelette de l'embryon et fœtus, enfant...

Fibreux et plexiforme.

Comparable à du bois compressé.

N'a pas une grande résistance mécanique.

Remplacé (!) et pas transformé !!) par du tissu osseux secondaire.

#### b. Le tissu osseux secondaire : lamellaire.

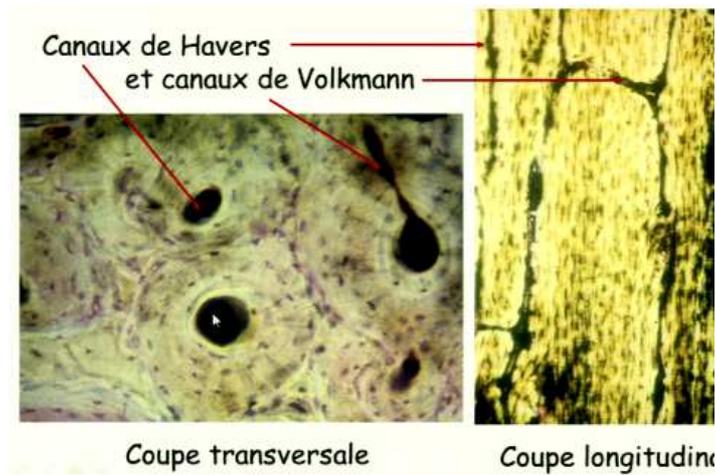
Lamellaire

Plus de résistance mécanique

Comparé au bois lamellé-collé.

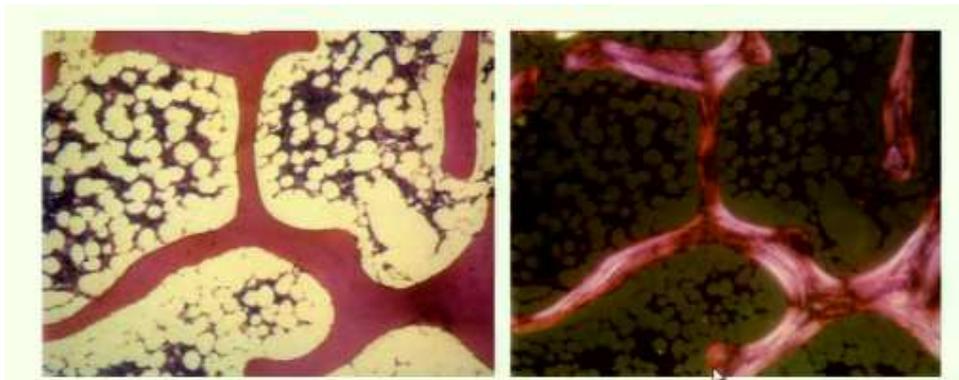
Deux variantes :

- **Tissu osseux périostique** : lamelles peu incurvées
- **Tissu osseux haversien** : compact dense  
ou trabéculaire : aérotaire (travées)



Les canaux de havers sont reliés entre eux par les canaux de Volkmann.

Les lamelles (en rose) concentriques sont autour des canaux de havers et pas de Volkmann.



## 2) Architecture – organisation tridimensionnelle.

### a. L'os compact

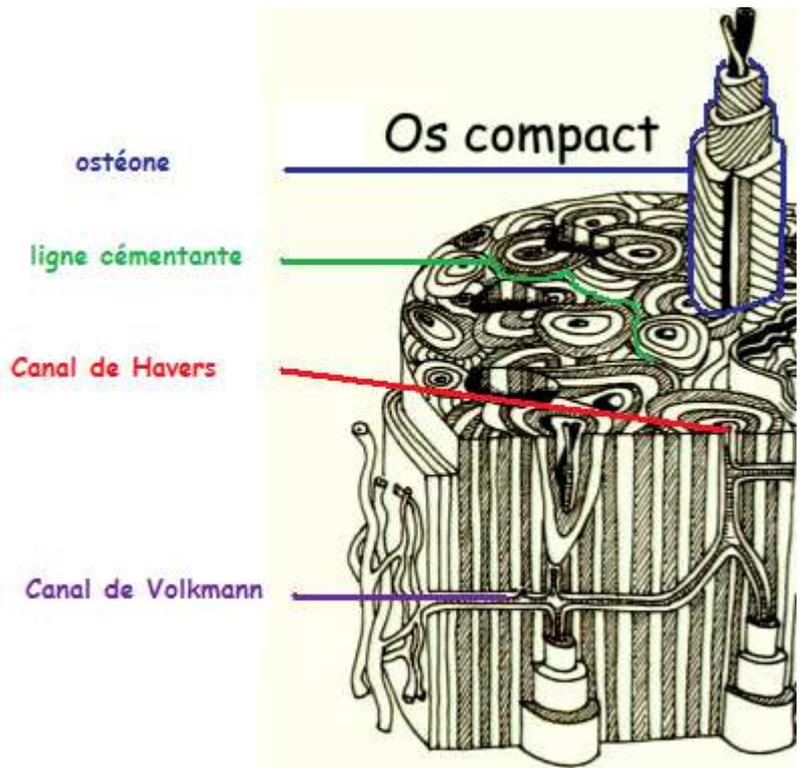
L'os des corticales

Juxtaposition de nombreux **ostéones**

Système à peu près **cylindrique**.  
Lamelles osseuses concentriques au **canal de havers**  
**de havers**

Canaux transversaux de **Volkman**

**Ligne cémentante** périostique irrégulière  
Bordure centrale hyper minéralisée.



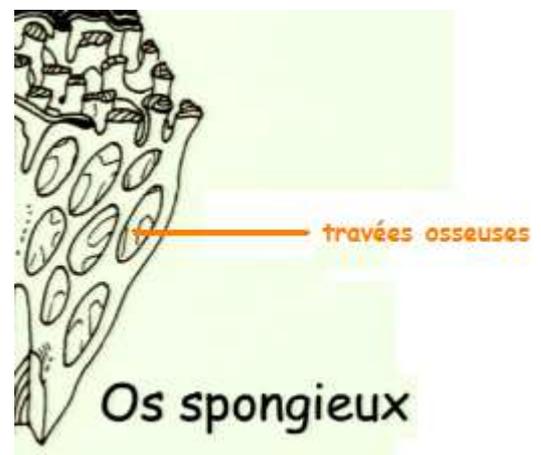
### b. L'os spongieux

**Travées** osseuses

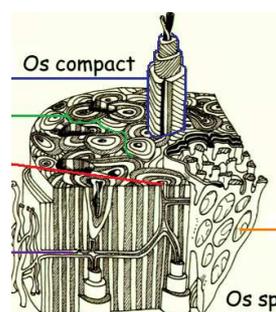
Réseau tridimensionnel

**Arches** largement ouvertes

Ostéones aux nœuds du réseau.



**L'os spongieux et l'os compact constituent l'os haversien.**



### 3) La substance intercellulaire.

Deux fractions intimement associées : **Minérale : 70%**      **Organique : 30%**

#### a. La matrice osseuse

Fibres de **collagène de type I** = 90% trame organique os sec = 30% protéines mammifères  
(Surtout) **Collagène I** :  $[\alpha_1]_2 [\alpha_2]_2$  ← codés par gènes du chromosome 17

Riche en **Gly** (32%), **Ala**, **Pro**, **OH-Pro** (21,5%) pas de tryptophane

(Un peu) **Collagène III** :  $[\alpha_1]_3$  : à la surface canaux Havers, et à l'interface os-périoste

III ↑, I ↓ entraîne → ostéogenèse imparfaite.

#### b. La substance fondamentale

- Collagène : **90%**
- Protéines Non Collagénique (PNC) : **10%** = schématiquement 3 groupes
  - PNC spécifiques à l'os : **ostéocalcine** (Gla-protéine)
  - PNC spécifiques à l'os **et** au cartilage calcifié
  - Non spécifiques : **ostéonectine**
- Minéral osseux = excellent adsorbant
  - Protéines plasmatiques :  $\alpha_2$ HS-glycoprotéine, albumine
  - Facteurs de croissance.

### c. La fraction minérale

#### Composition :

- Calcium : **98%** du calcium du corps
- Phosphore : **88%**
- Carbonates : **80%**
- Citrates : **80%**
- Magnésium : **60%**
- Sodium : **35%**
- Oligo-éléments : zinc, Baryum, Fluor, Strontium.

#### Nature

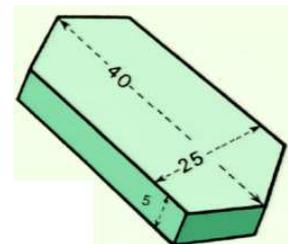
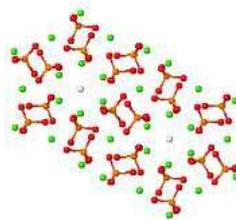
- forme microcristalline d'hydroxyapatite



Plaquette hexagonale

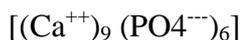
Zone profonde → échanges **lents**

Zone superficielle à ions dissociés



Surface d'échange considérable = **40 hectares** !!

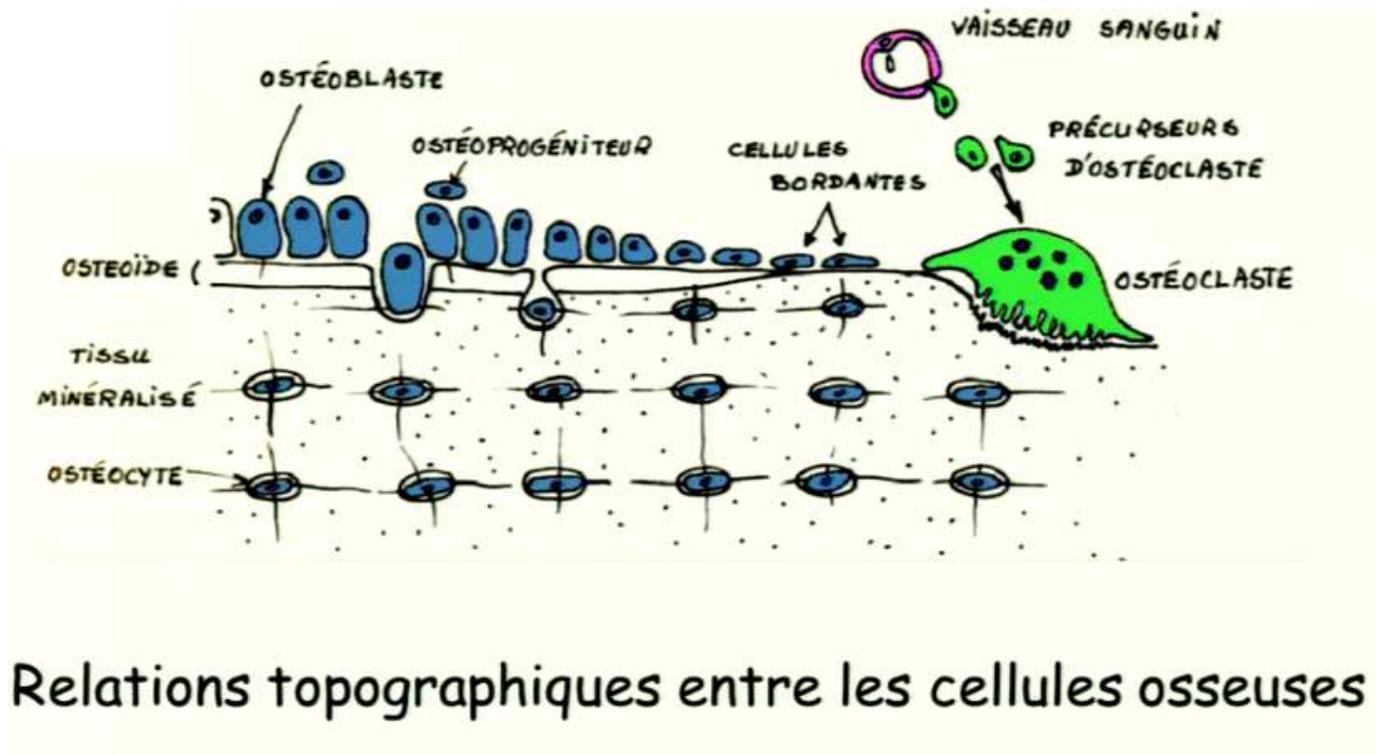
- Phosphates de calcium amorphe



Abondants chez les jeunes → **Diminue avec l'âge**

Augmente la maturation de la fraction minérale

### III) Les cellules osseuses.



## Relations topographiques entre les cellules osseuses

Les prolongements d'ostéoblastes vont à la rencontre des prolongements des ostéocytes.  
Une fois que les ostéoblastes ont achevé leur activité de  $\Sigma$ , ils s'aplatissent pour devenir des cellules bordantes. Ils peuvent aussi devenir des ostéocytes.  
A la surface on a soit des ostéoblastes, soit des cellules bordantes.

### 1) La lignée ostéoblastique

#### a. L'ostéoblaste

- Dérive des cellules **mésenchymateuses**
- Elabore le tissu pré osseux : l'**ostéoïde** (voir schéma) et participe à sa **minéralisation**.
- L'ostéoblaste doit disposer d'un support travées directrices (fibres de collagène)
- Disposition *pseudo-épithéliale*.
- **Noyau au pôle opposé du tissu pré-osseux** qu'ils élaborent (visible sur le schéma)
- Organites de  **$\Sigma$  protéique**.
- Cytoplasme **basophile**
- Prolongements → vont à la rencontre de prolongements d'ostéoblastes voisins et d'ostéocytes.

**Les ostéoblastes élaborent du tissu osseux autour d'eux-mêmes. Ils deviennent des ostéocytes.**

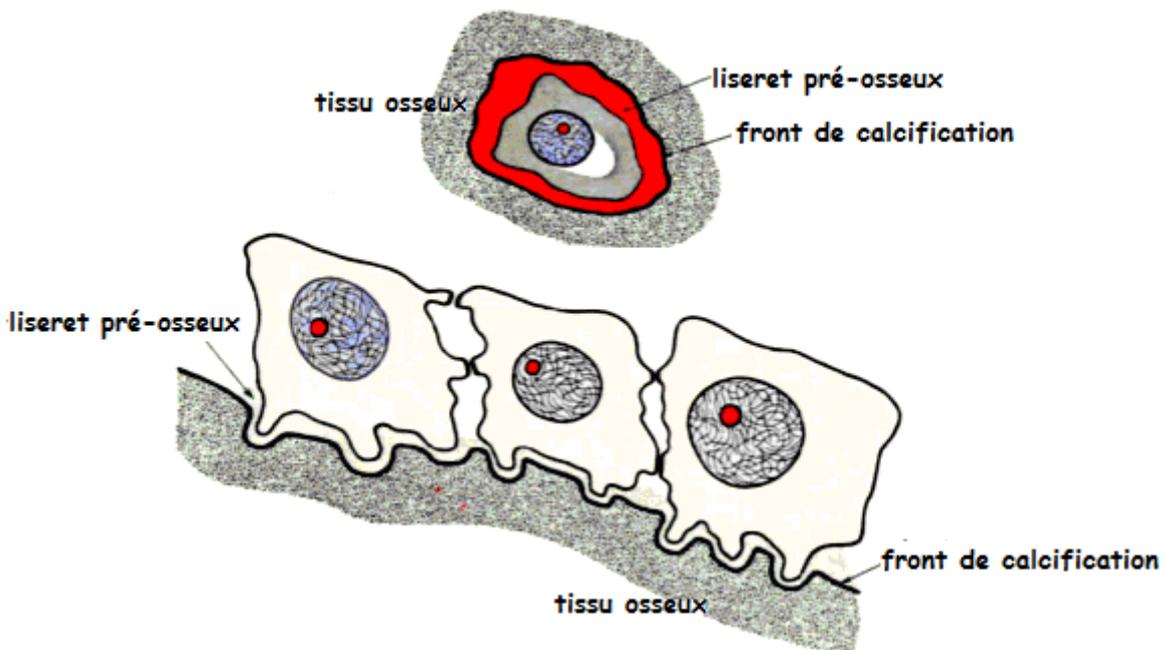
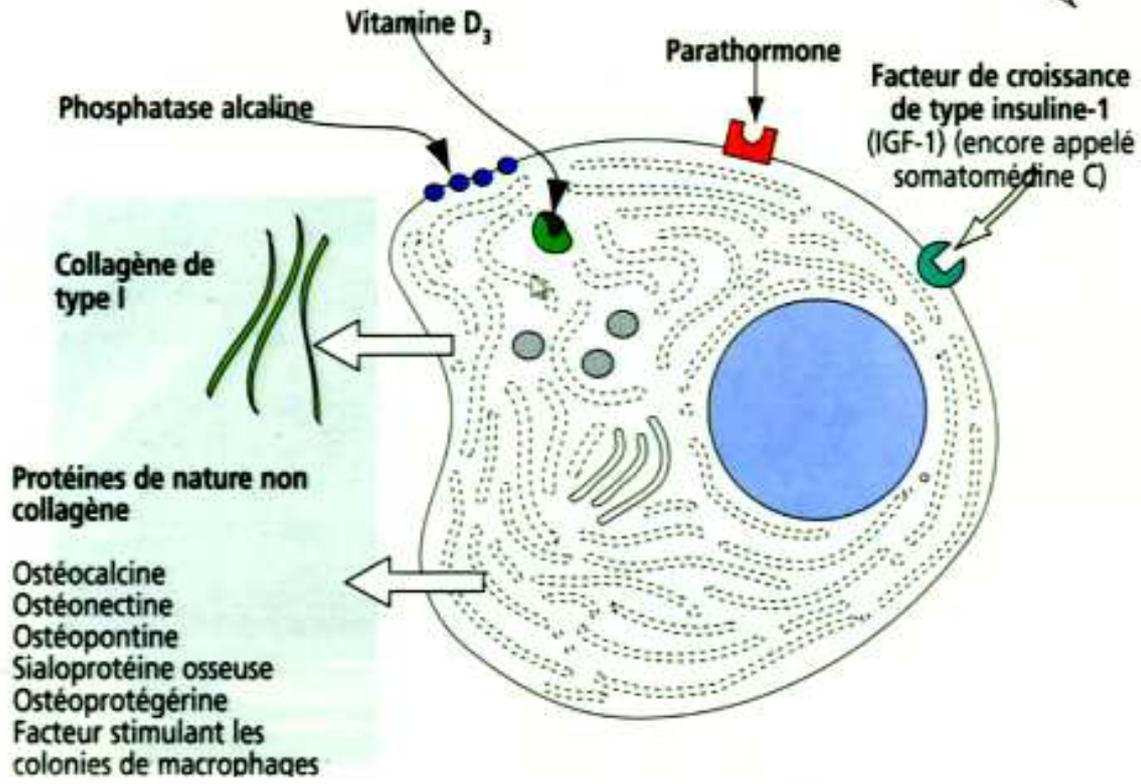
**Une seule génération d'ostéoblastes suffit.**

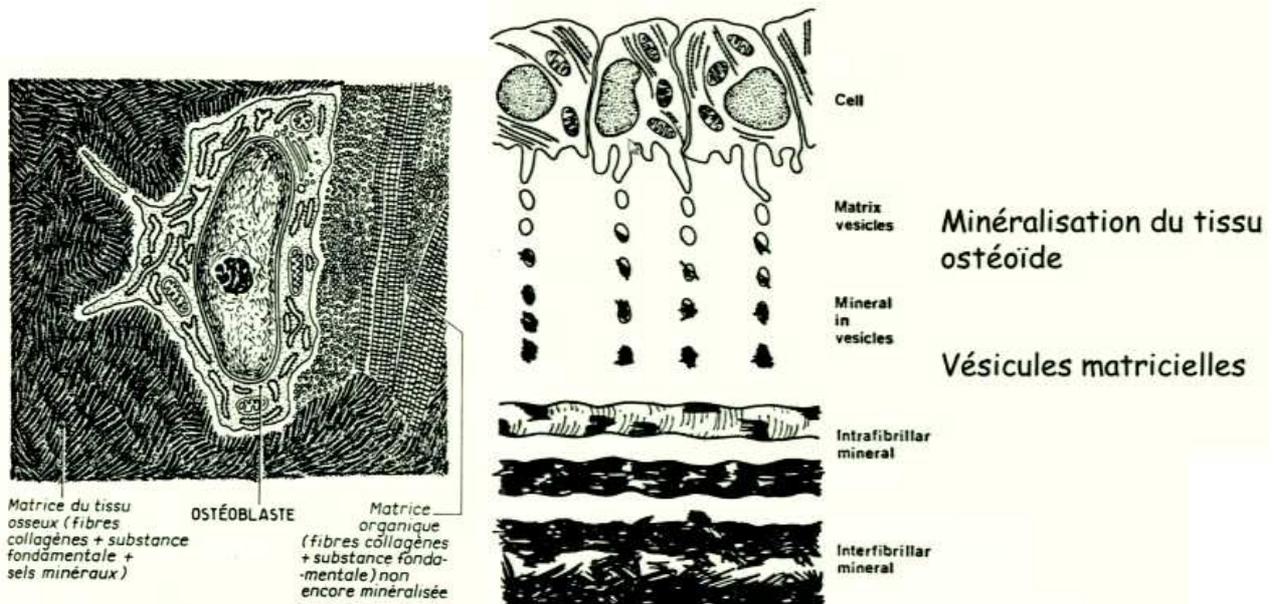
**Durée de vie : de quelques jours à une dizaine de semaines**

La vitamine D<sub>3</sub> (1 $\alpha$ ,25-dihydroxycholecalciférol) régule l'expression de l'ostéocalcine, une protéine ayant une forte affinité pour l'hydroxyapatite.

Hormone de croissance (d'origine hypophysaire)

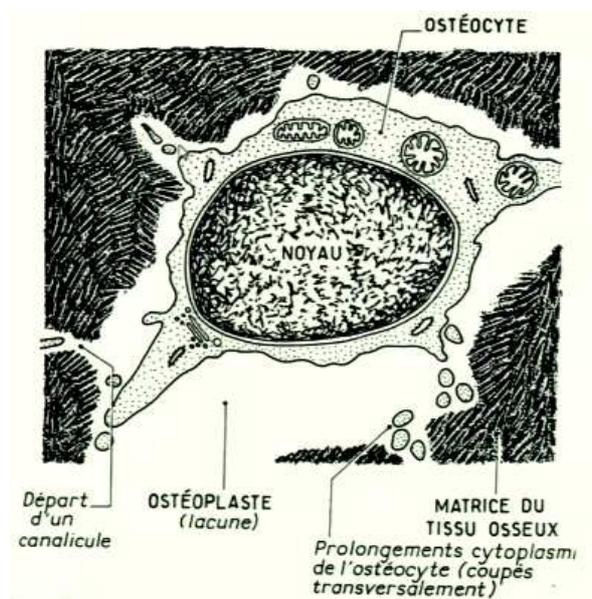
Foie





### La minéralisation de la trame organique se fait en 2 phases :

- **Une rapide (4jours)** : 1 à 2  $\mu\text{m}/\text{jour}$   $\rightarrow$  70% du minéral est déposé.
  - o En se déplaçant, les ostéoblastes laissent des **vésicules matricielles**  $\rightarrow$  **calcification**
    - **1 : nucléation** (formation de cristaux initiaux)
    - **2 : épitaxie** (agrandissement du cristal)
    - La calcification se poursuit à l'intérieur des fibres de collagène, puis entre les fibres. Les cristaux se comportent comme des récepteurs piézo-électrique : sensibles aux changements de pression.
- **Une lente (plusieurs années) = calcification inter fibrillaire.**



Environ 15% des ostéoblastes se différencient en ostéocytes dont la durée de vie est de plusieurs années

## b. L'ostéocyte

Lacune = ostéoplaste. Volume total  $\approx 1,8\%$ , **26000 ostéoplastes /mm<sup>3</sup>**

**Canalicules** : importante surface d'échange.

Lacunes déshabitées :

- naissance : 1%
- 70 ans : 40%

Moins d'organites que l'ostéoblaste.

## c. La cellule bordante.

- Apposée à la surface osseuse
- Aplatie (**endothélioforme**)
- Noyau aplati
- Organites réduits
- Prolongements cellulaires (gap junctions)
- Excrétion **facteurs chémotactiques** ← **précurseurs d'ostéoclastes**
- S'écartent pour laisser passer les ostéoclastes.
- Couche minéralisée libre
- Initie les séquences de modelage, remodelage

## 2) La lignée ostéoclastique

Fusion de cellules mononucléées (20 à 30 noyaux) d'origine monocyttaire → Cellule géante, multinucléée.

### Résorption :

- **en surface** : lacune de résorption d'Howship
- **en profondeur** : cône de résorption

Étroitement liée à la surface de l'os bien calcifié.

Bordure en brosse. (Microvillosités) → **Anneau de scellement**. Joint étanche.

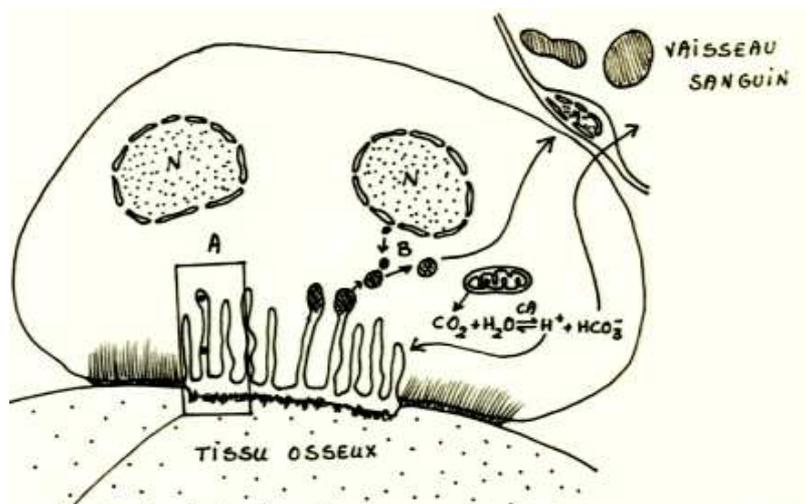
Nombreuses mitochondries, peu de REG.

L'ostéoclaste travaille grâce à la présence d'une **anhydrase carbonique** qui permet la formation d' $H^+$

**Récepteurs hormonaux** : calcitonine.

**Mobilité** en surface → 20-40  $\mu\text{m}/\text{jour}$   
En profondeur ↓ 5-10  $\mu\text{m}/\text{jour}$

**Surface** : 3,6% des surfaces trabéculaires.





## IV) L'ostéogenèse

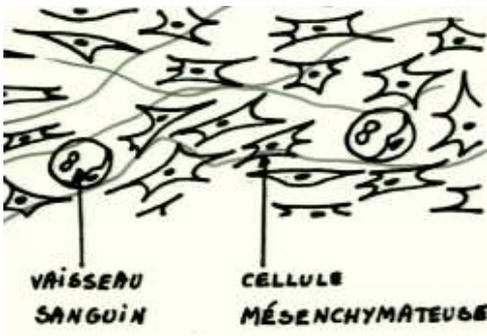
Phénomène très long : l'os joue son rôle de soutien alors qu'il est en cours d'ossification → rôle des contraintes mécaniques, avec destruction des éléments qui ne sont plus adaptés.

### 1) Formation

#### a. ossification primaire.

- Soit elle est précédée d'un modèle cartilagineux hyalin.
- Soit il n'y a pas de modèle, et la pièce squelettique se forme dans une membrane riche en collagène.

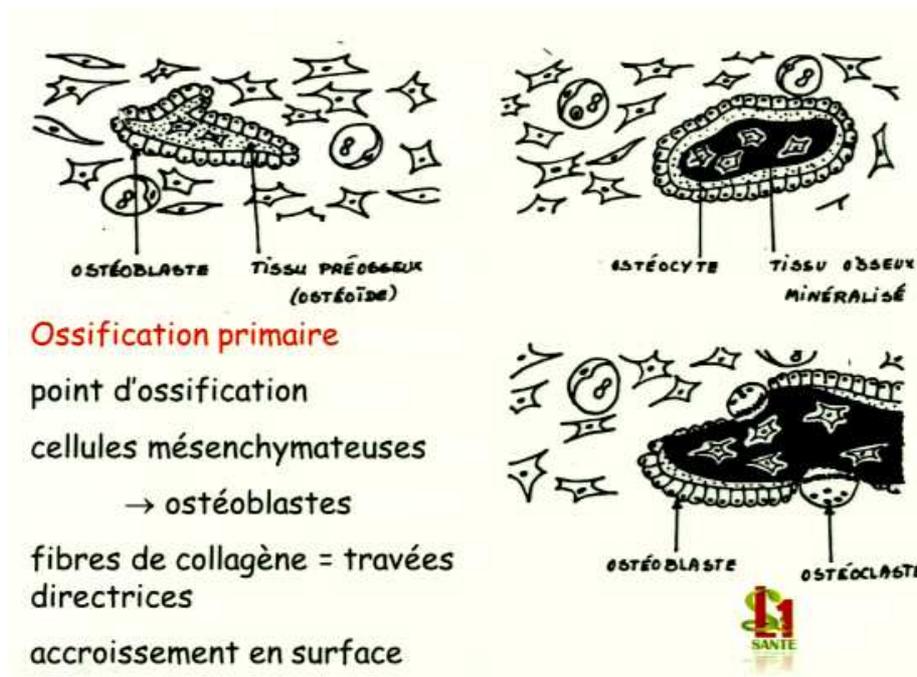
#### o Ostéogenèse dite de membrane : la plus simple



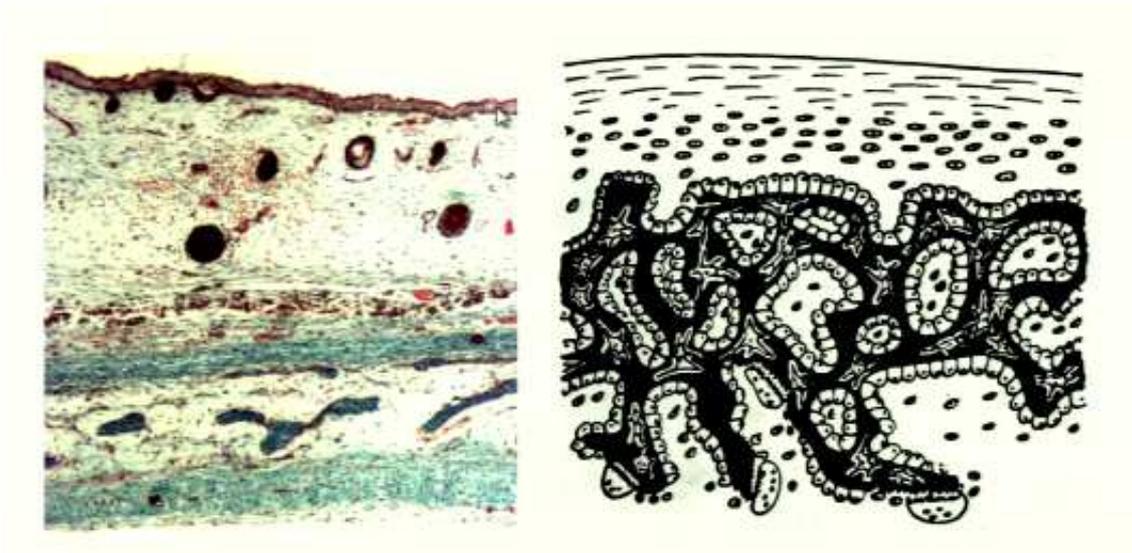
- os de la face : ossification à proximité d'un tuteur cartilagineux temporaire (ex : mandibule et cartilage de Meckel)
- os du crâne : pas de tuteur.

Ebauche :

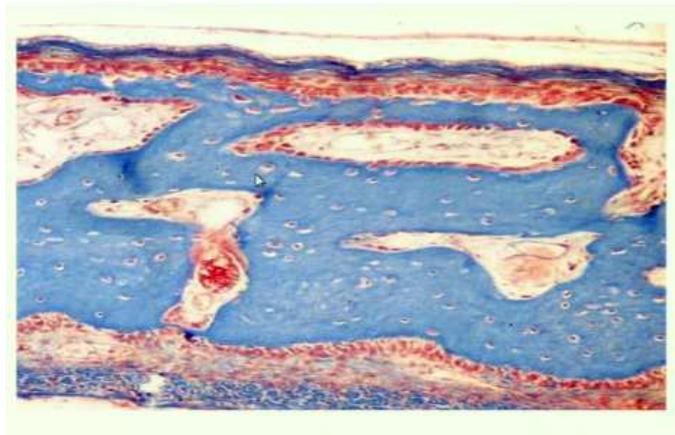
Scléroblastème = blastème mésenchymateux squelettogène  
Cellules mésenchymateuses étoilées x active.



Point d'ossification on trouve des cellules mésenchymateuses qui forment des ostéoblastes. Les fibres de collagène sont disposées en travées directrices et il y a un accroissement en surface.



Apparition d'autres points d'ossification : anastomose des points → trabécules  
Couche d'os spongieux primaire en dentelle.



Lorsque la dentelle a atteint une certaine épaisseur, le tissu conjonctif qui la recouvre se met à fonctionner comme un périoste → **couche ostéogène d'Ollier, fibres de Sharpey.**

L'os est capable de se réparer « ad integrum »

## b. ossification secondaire

Les ostéoclastes détruisent la partie centrale du tissu osseux primaire.

**De l'os spongieux lamellaire se met en place : c'est le diploë**

Les deux corticales osseuses d'origine périostique sont conservées.



à droite os spongieux, travées,

Os primaire plexiforme → os secondaire lamellaire

Ralentissement chez le jeune adulte, mais ne cesse jamais = remaniements.

## c. Croissance et modelage.



Le périoste reprend son activité peu après la naissance.

Le tissu osseux lamellaire est organisé en 2 tables (int et ext) encadrant le **diploë**

Conséquences : croissance centrifuge et en épaisseur avec des espaces encore occupés par du tissu fibreux. (Sutures et fontanelles)

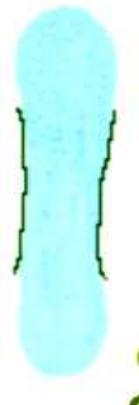
L'ossification est terminée en fin de troisième année.

#### d. L'ostéogenèse est précédée d'un modèle cartilagineux.

Implique une ossification endochondrale **et** endoconjonctive.

Forme grossière de l'os définitif. Cartilage hyalin entouré de périchondre (sauf dans les futures régions articulaires) continue à croître durant l'édification de l'os tout en se transformant

- croissance **interstitielle**
- croissance **appositionnelle**



## 2) L'ossification primaire

### a. diaphysaire

Exemple du tibia :

- diaphyse : 35 – 40<sup>ème</sup> jour de la vie embryonnaire
- épiphyse sup. : à la naissance
- épiphyse inf. : 18 à 24 mois.

Les cellules du périchondre prolifèrent → ostéoblastes  
Élaborent substance pré osseuse minéralisée  
Périchondre devient un périoste

Le tissu osseux forme un anneau (**virole**) qui ceinture la diaphyse. Cette virole va s'agrandir en direction des métaphyses et s'agrandir également en épaisseur.

**Anneaux osseux primaire** = virole +/- complète qui s'accroît en longueur et en épaisseur.

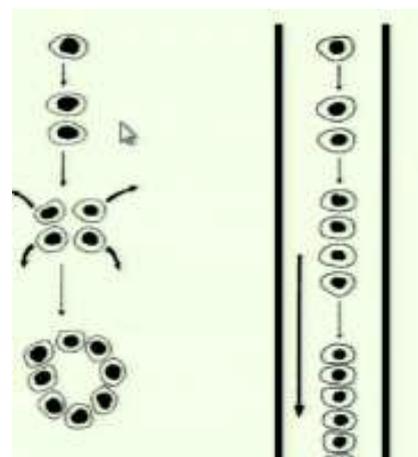


### Ossification endochondrale au sein du cartilage :

Au niveau de la diaphyse, on a des **chondroblastes** qui vont par mitose donner des cellules filles.

Mais les chondroblastes ne peuvent croître dans toutes les directions de l'espace à cause de la virole rigide. → Ils forment une pile d'assiette

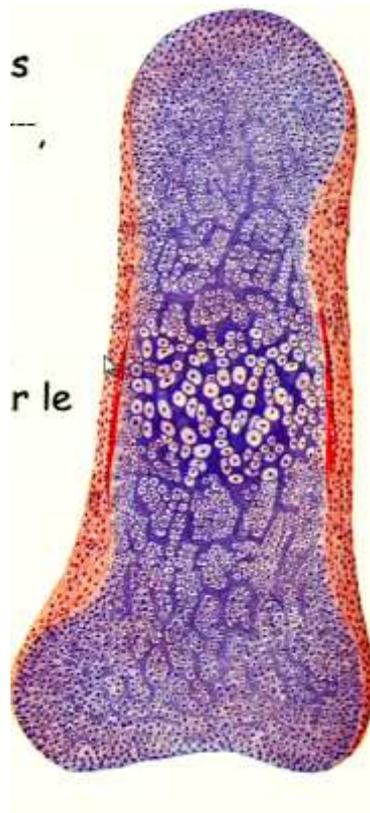
Groupes isogéniques axiaux = mitoses dans le même plan.



## Hypertrophie des chondrocytes

Virole osseuse en rouge

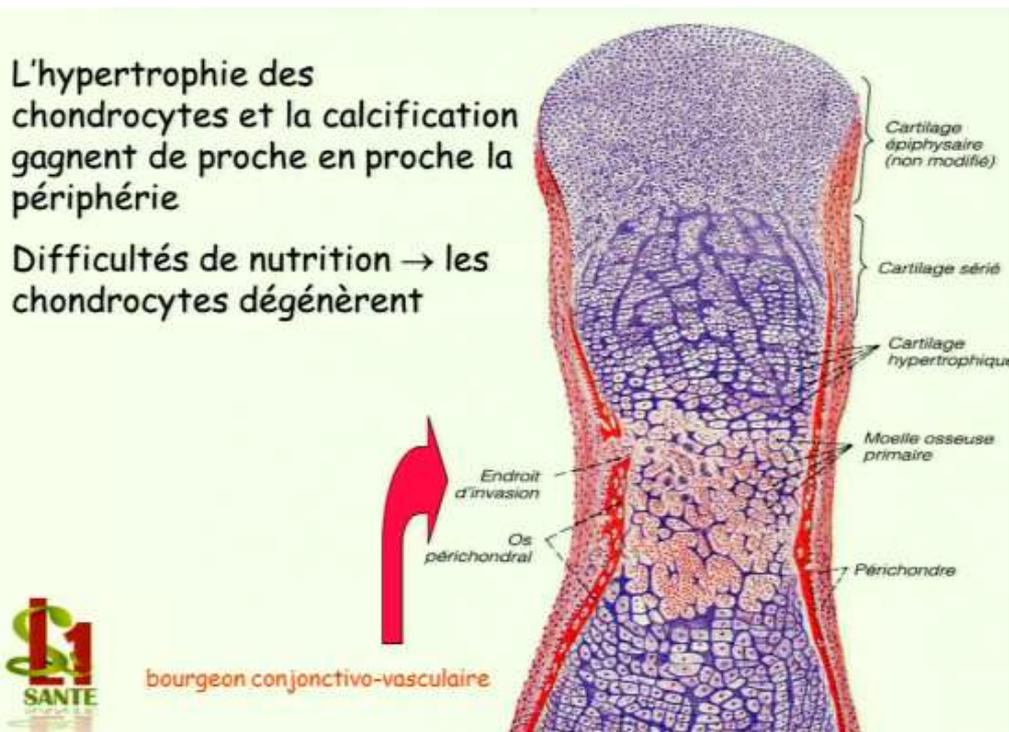
Dans la région moyenne en violet : des groupes isogéniques axiaux.



## Calcification de la matrice de cartilage

Les transformations continuent à partir de la diaphyse. Les chondrocytes s'hypertrophient. Ils vont accumuler du calcium et des phosphates qu'ils vont sécréter → **calcification de la matrice de cartilage**.

**Chondrocalcine** : liaison initiale avec des protéoglycanes médiée par le Ca, nucléateur de l'accrétion minérale.



### La calcification ne s'arrête pas là :

Des capillaires issus du périoste perforent la virole = bourgeons conjonctivo-vasculaires  
Cellules souches ostéoblastes et -clastes.

Résorption du cartilage calcifié → cavité médullaire primitive.

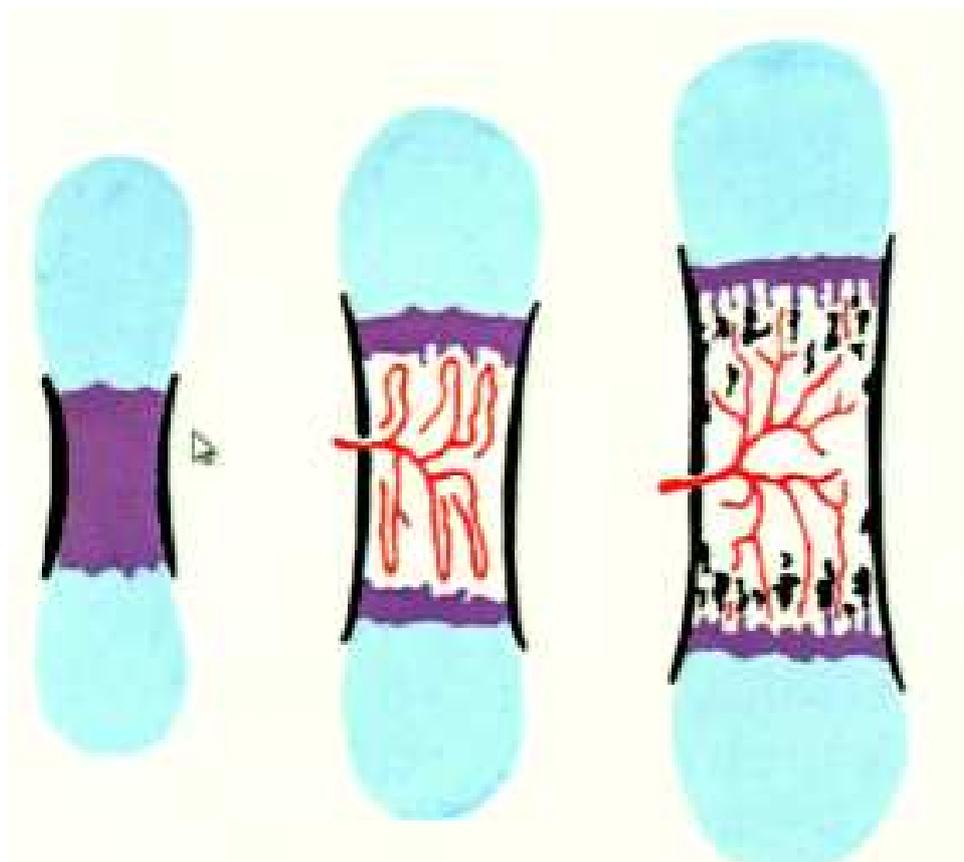
Quelques spicules = travées directrices → tissu osseux endochondral.

Cette séquence gagne de proche en proche.

La cavité médullaire primitive s'agrandit.

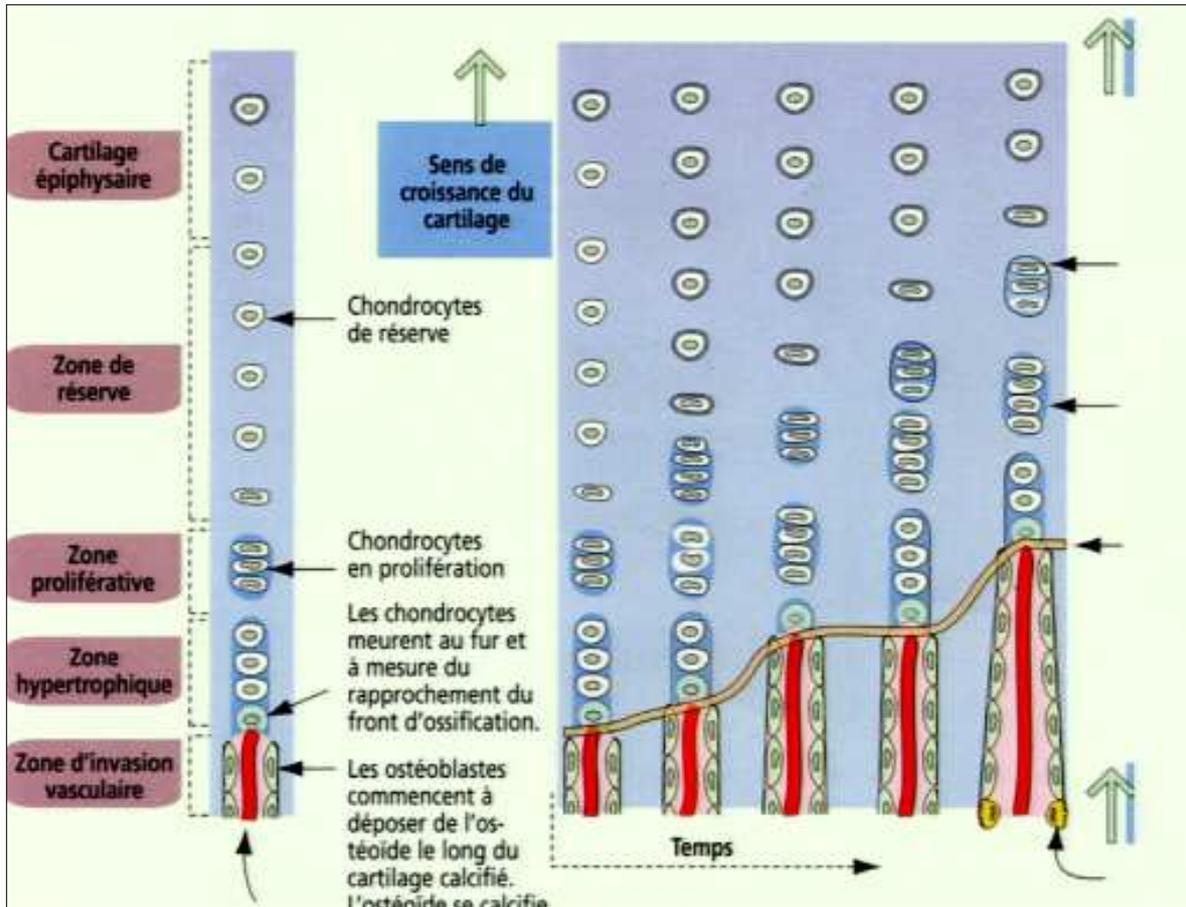
Le tissu osseux endochondral le plus ancien est résorbé.

→ La diaphyse = fût osseux primaire encadrant la moelle.



Transformations plus rapides que la croissance.

**Atteignent les métaphyses en fin de troisième mois de vie fœtale.** Elles ralentissent.



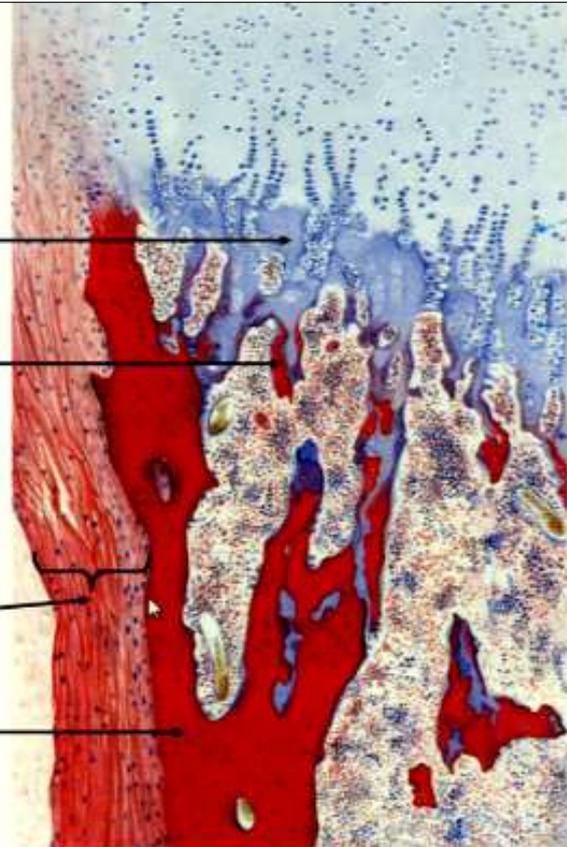
## Os périostique et os endochondral

matrice cartilagineuse calcifiée

os endochondral

périoste

os périostique



## b. L'ossification primaire épiphysaire.

Commence plus tôt : à la naissance.

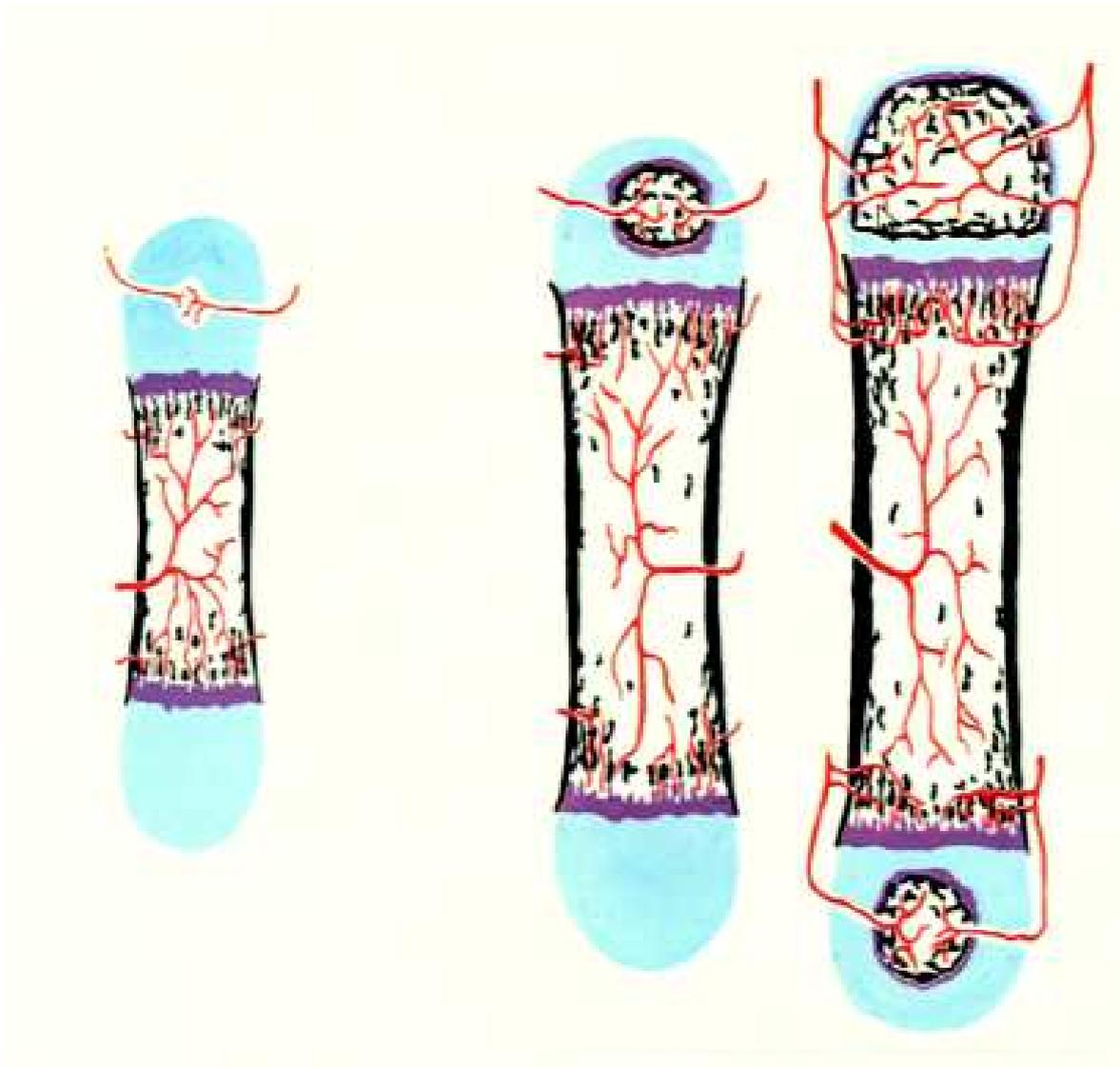
Il y a un point d'ossification central. Transformations  $\approx$  diaphyse

Mais résorption lente du tissu osseux formé  $\rightarrow$  tissu osseux spongieux.

Région orientée diaphyse : semelle osseuse non fertile, simple apposition osseuse.

Région articulaire : cartilage (articulaire) conservé.

Points d'ossifications tardifs. Ex : tubérosité ant. Du tibia  $\approx$  13<sup>ème</sup> année.



Il subsiste un peu de cartilage hyalin à la base de l'épiphyse. Une couche de tissu osseux empêche le cartilage de se résorber complètement : ça donne le cartilage de conjugaison ou cartilage de croissance.

Bleu : cartilage hyalin

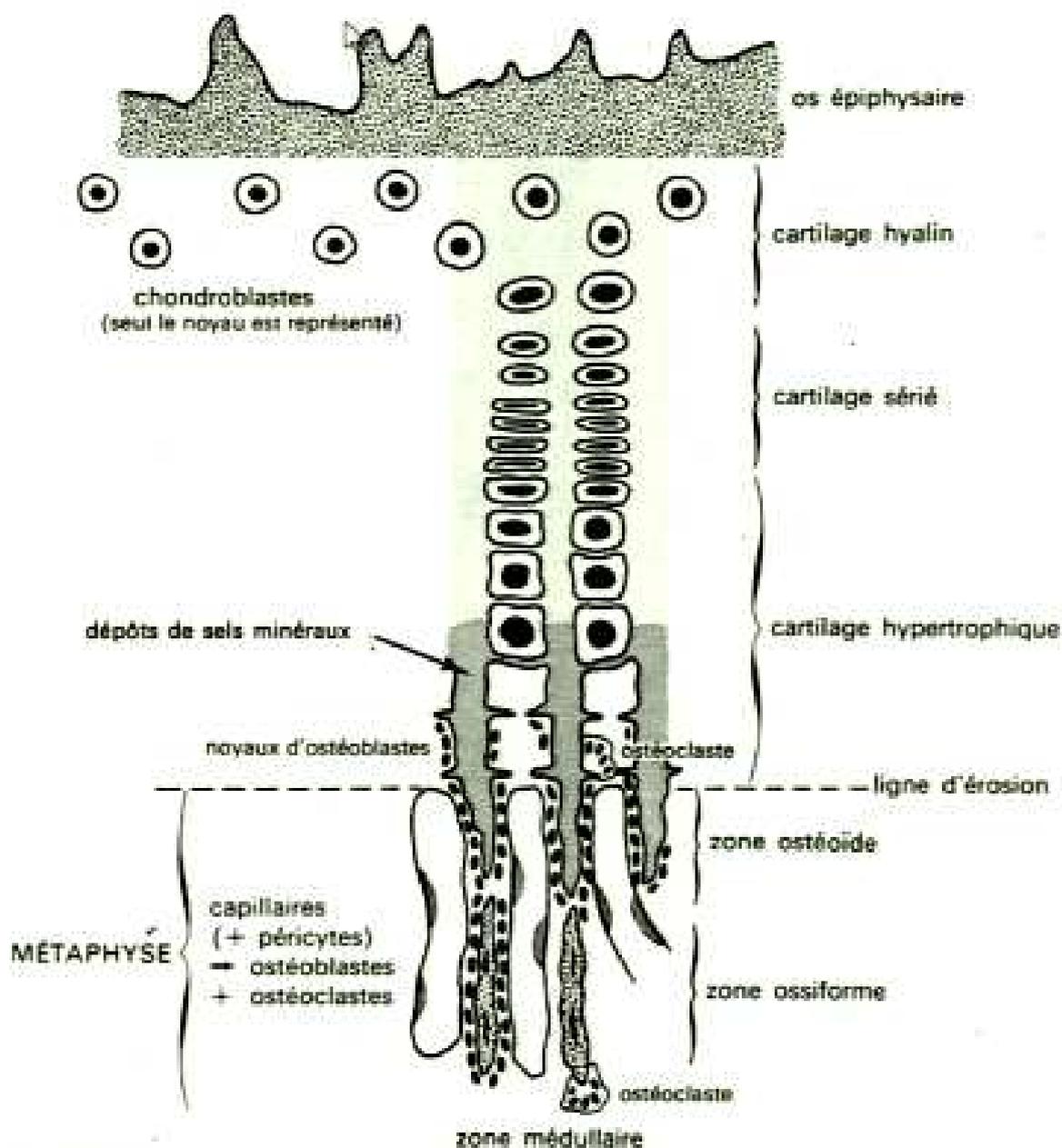
Violet : cartilage calcifié

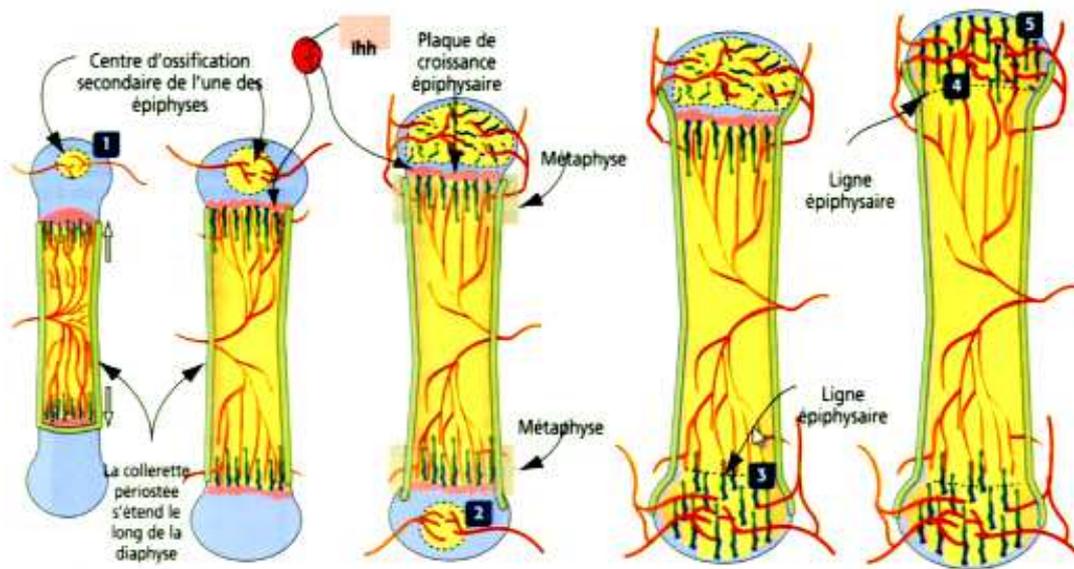
Noir : tissu osseux.

### c. Résultats de l'ossification primaire.

La maquette est **remplacée** par une pièce osseuse.

- Étui diaphysaire d'os périostique non lamellaire
- 2 épiphyses : tissu osseux aréolaire (spongieux)
- Cavité médullaire avec moelle osseuse
- Cartilage de conjugaison (plaque de croissance).



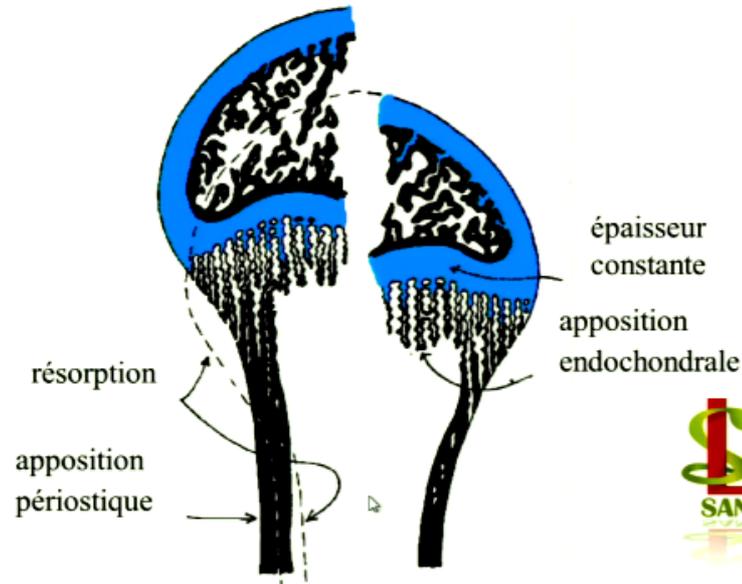


#### d. Le cartilage de conjugaison

##### Accroissement de la diaphyse

Chaque métaphyse est occupée par une zone de cartilage de 1 à 2mm d'épaisseur qui conditionne l'allongement en longueur de la diaphyse (fût diaphysaire et cavité médullaire)

### La résorption modelante de Hunter



La zone d'ossification semble s'être déplacée mais le cartilage de conjugaison a conservé une épaisseur constante.

- Destruction sur le versant diaphysaire.
- Dans le même temps sur le versant épiphysaire, les chondrocytes vont former un volume équivalent de tissu cartilagineux par croissance interstitielle des chondrocytes de la zone de réserve

Sur les flancs, les transformations se poursuivent → la virole osseuse continue à s'allonger.  
Le cartilage de conjugaison = lieu essentiel de la croissance en longueur.



**Mécanisme différent : intéresse uniquement le tissu osseux périostique.**

- Apposition à la surface de la virole → Tissu osseux primaire dense
- Résorption interne

Équilibre adéquat → accroissement harmonieux.

**Ostéopétrose** : manque d'ostéoclastes.

### Accroissement des épiphyses.

D'abord uniquement accroissement de la masse cartilagineuse par

- **Apposition externe périchondrale**
- **Apposition interne interstitielle**

Puis croissance similaire à celle de la diaphyse.

Arrêt quand la semelle osseuse se met en place.

### 3) L'ossification secondaire

Immédiatement après la mise en place du tissu osseux primaire.

Mécanismes de modelages → remplacement par du tissu osseux secondaire plus solide, plus favorablement nourri.

#### a. L'ossification secondaire diaphysaire.

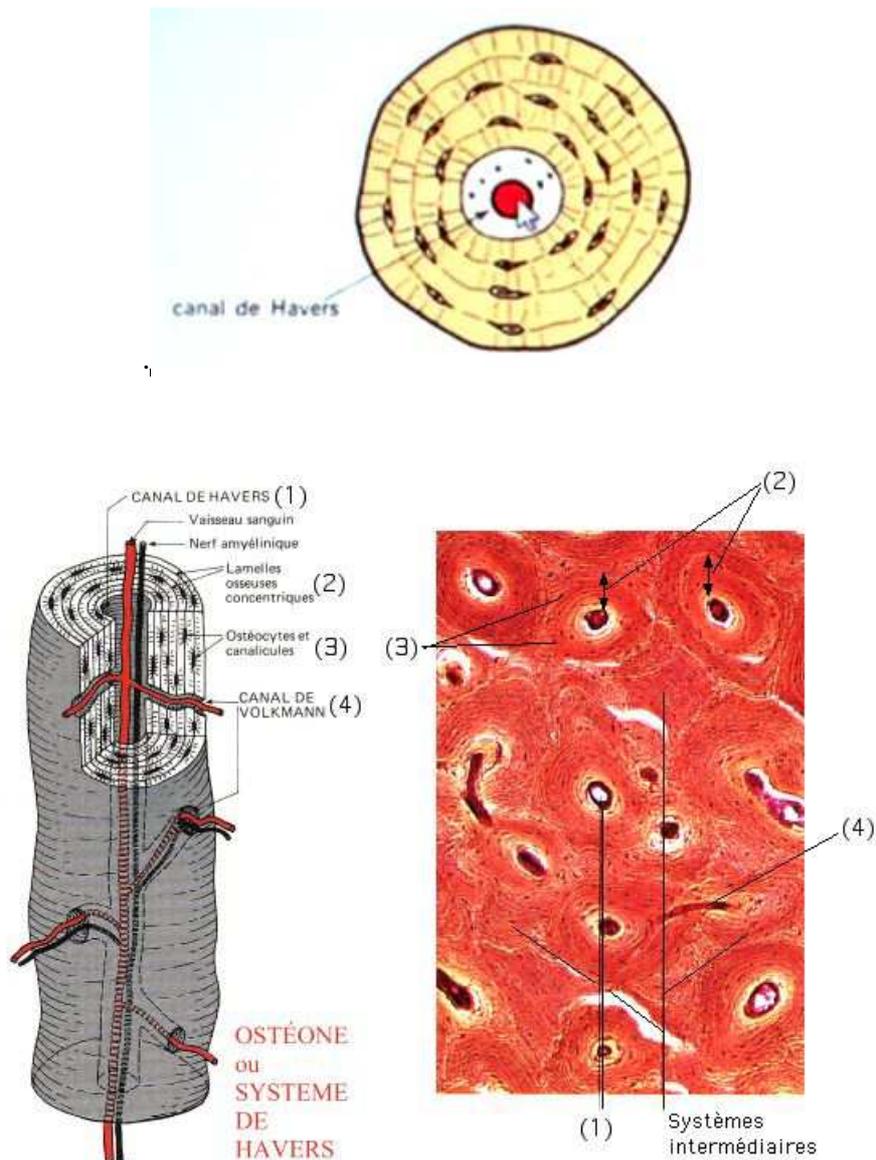
Le tissu osseux d'origine périostique est pénétré par des **bourgeons conjonctivo-vasculaires**, d'abord perpendiculaires, puis parallèles au grand axe de la pièce squelettique. C'est ainsi que sont créés les canaux de Volkmann et les canaux de Havers.

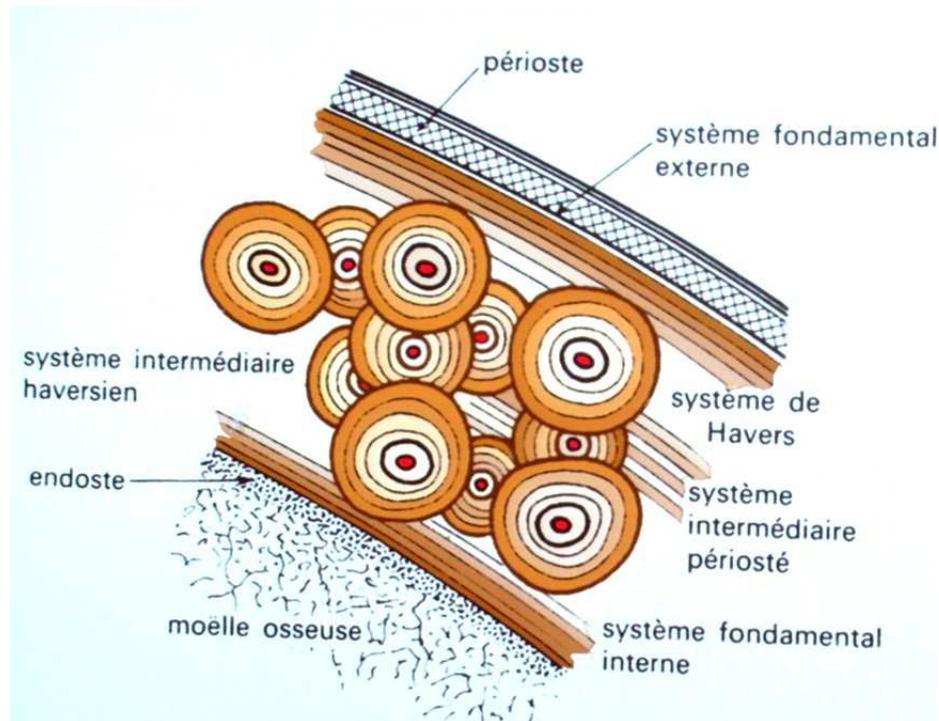
Orientation parallèle des fibres d'une lamelle à l'autre.

Nombreuses générations successives d'ostéones → les restes des anciens ostéones = systèmes intermédiaires.

Quand une certaine épaisseur du fût est atteinte, des lamelles recouvrent les surfaces osseuses intérieures et extérieures = systèmes fondamentaux int et ext.

Dans la cavité médullaire, le tissu osseux endochondral est totalement détruit





**b. L'ossification secondaire épiphysaire.**

Les travées osseuses endochondrales subissent la lente résorption et le tissu spongieux les remplace.

Remaniement lent → solidité respectée avec réorientation des travées selon les contraintes (structure ogivale). La surface de la tête (sauf au niveau articulaire) est recouverte par le périoste qui fournit une mince couche de tissu osseux lamellaire.

#### 4) Fin de la croissance.

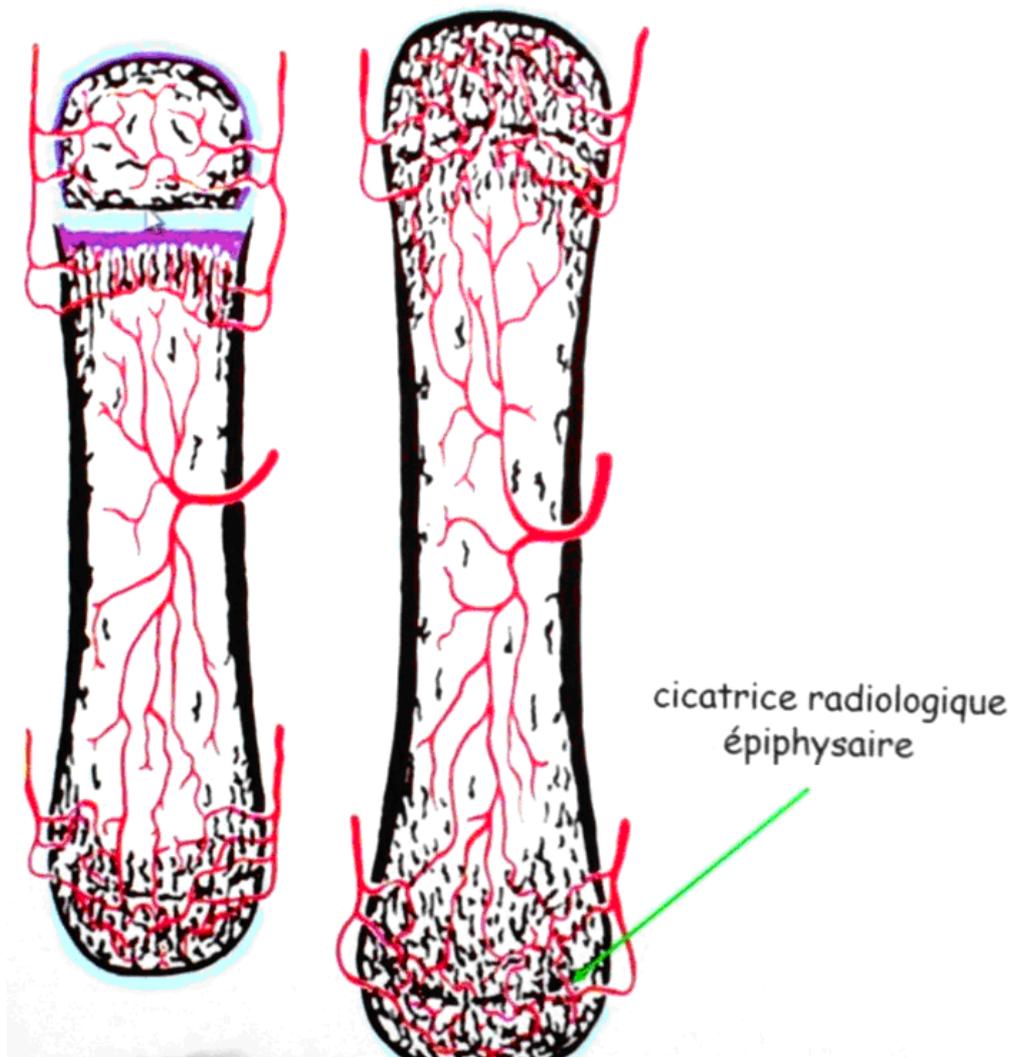
Liée à la disparition des zones d'ossification, en particulier du cartilage de conjugaison.

Son activité diminue progressivement → atrophie globale, désorganisation des différentes couches, chondrocytes - nombreux, groupes isogéniques coronaires, arrêt de la minéralisation.

Une lame osseuse à peu près continue se met en place sur la face métaphysaire = fermeture de la plaque conjugale.

Des vaisseaux venus de la métaphyse traversent le cartilage et s'anastomosent avec les épiphysaires.

Au niveau de ces vaisseaux, du tissu osseux est formé, et progressivement, le tissu cartilagineux est résorbé.



Continuité des travées métaphysaires et épiphysaires.

Chez l'adulte, persistance longtemps d'une fine bande transversale continue = cicatrice épiphysaire radiologique.

## V) Remaniements chez l'adulte.

### 1) Les BMU

Le tissu osseux ne reste pas immuable dans sa structure. Remaniements perpétuels par les BMU (Basic Multicellular Units)

Au cours des remaniements : couplage entre les deux grandes lignées cellulaires.

Remaniement : la résorption précède l'apposition (séquence immuable)

#### Séquence ARF

- Activation de la résorption ostéoclastique, environ toutes les 10s selon l'âge, le sexe...  
Pendant 15-30 jours.
- Rreverse (inversion)
- Formation (reconstruction) ostéoblastique  $\approx$  90 à 120 jours.

#### Durée de vie des BMU

Normale : 3-4 mois

Ostéomalacie : 10 ans

Le tissu pré-osseux ne subit pas de calcification

Ostéoporose post-ménopausique : 2,5 ans

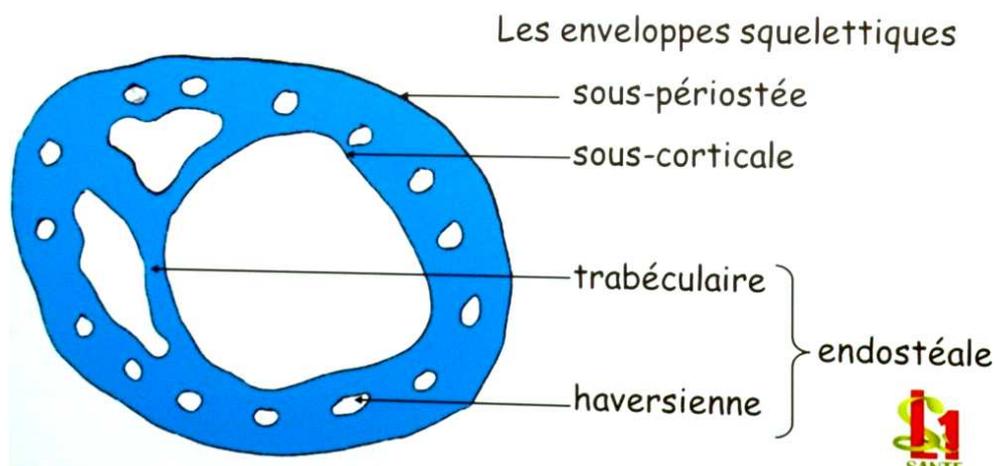
Chaque année, renouvellement de :

- 25 % de l'os trabéculaire
- 4% de l'os compact

800 unités fonctionnelles trabéculaires sont activées par heure

100 unités fonctionnelles compactes sont activées par heure.

## 2) Le bilan tissulaire osseux diffère selon l'enveloppe où le BMU se trouve.



4 enveloppes avec un bilan qui diffère.

ENVELOPPE	BILAN	EXEMPLE
<b>Sous-périostée</b>	Légèrement $> 0$	Le diamètre externe des côtes augmente.
<b>Haversienne</b>	Equilibré	La porosité n'augmente pas.
<b>Endostéale</b> - sous corticale - trabéculaire	$< 0$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les corticales s'amincissent par l'intérieur</li> <li>• L'os spongieux se raréfie.</li> </ul>

Globalement, avec le temps la quantité de tissu osseux se raréfie.

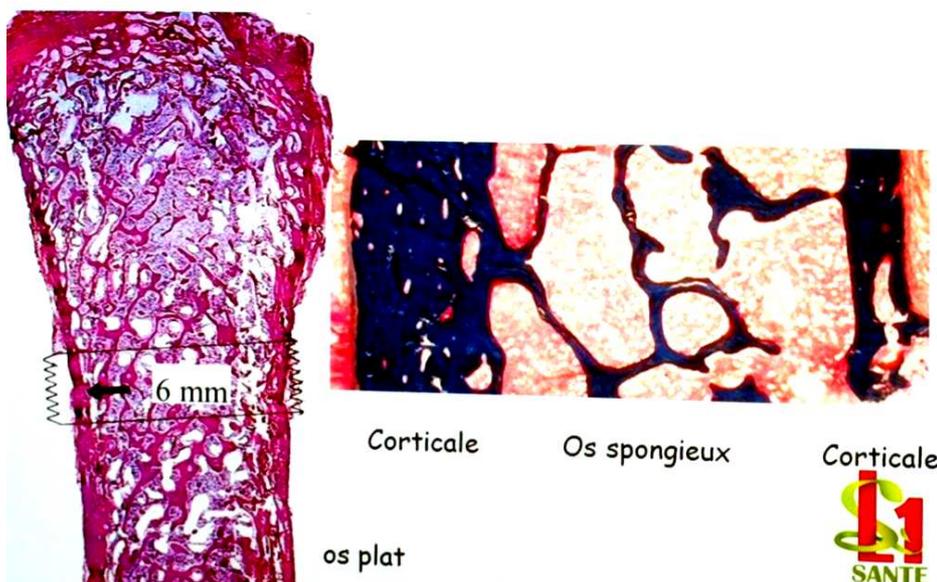
## 3) Ponction-Biopsie osseuse au niveau de la crête iliaque (PBO)

On introduit un cylindre creux au niveau de l'os cortical postérieur. (Trocart de Bordier) diamètre de 8mm

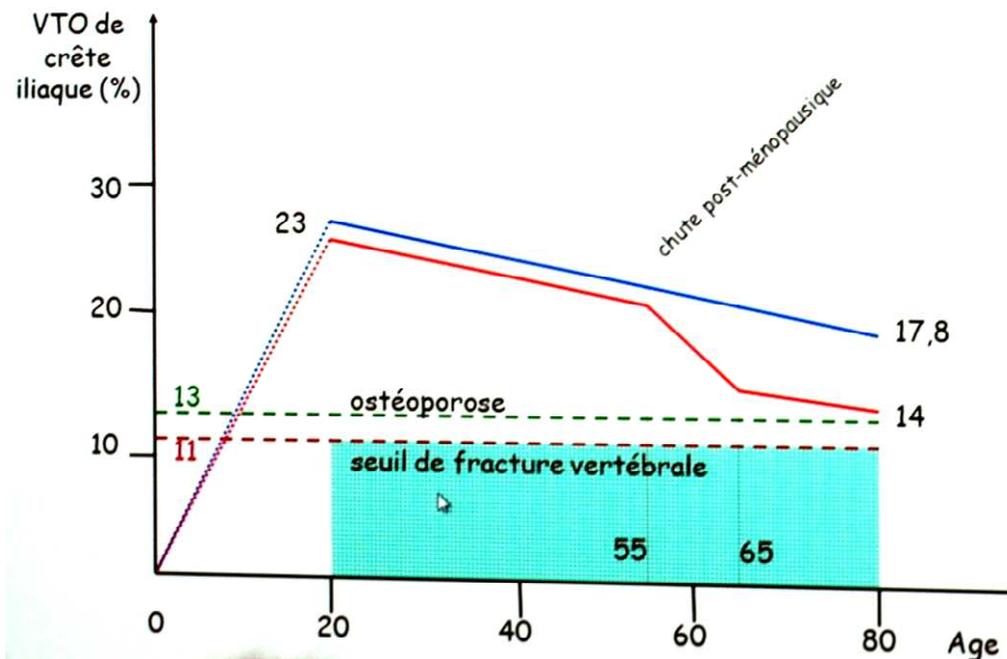
On introduit un deuxième trocart (diamètre de 6mm) à travers l'os iliaque jusqu'au niveau antérieur de l'os iliaque.

Pourquoi étudier une PBO ?

→ Il existe une relation très forte entre ce qu'on observe au niveau de l'os iliaque et les vertèbres ou l'épiphyse fémorale.



#### 4) L'ostéopénie physiologique.



VTO = volume trabéculaire osseux.

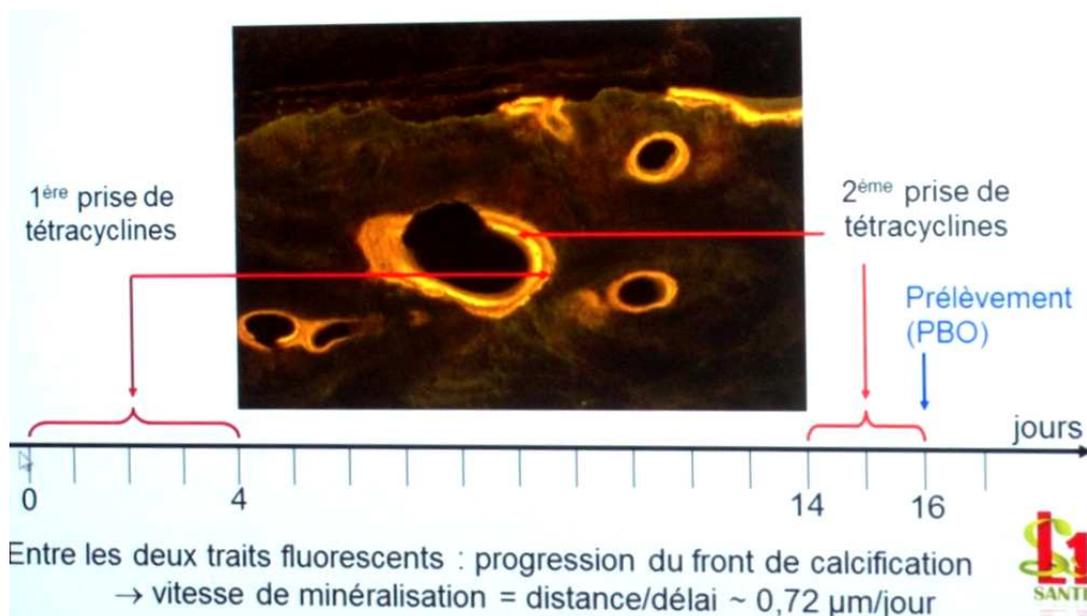
Variations selon l'alimentation, l'ensoleillement...

13% du VTO = ostéoporose malade.

11% du VTO = seuil de fracture vertébrale.

#### Etude dynamique : double marquage aux tétracyclines

- Groupe d'antibiotiques
- Fixation au niveau des tissus en cours de calcification (tissu ostéoïde, mais aussi chez l'enfant : émail, dentine)
- UV : Fluorescence jeune sur coupes non décalcifiées (18  $\mu\text{m}$  d'épaisseur)



Ca permet de mesurer la vitesse de calcification.