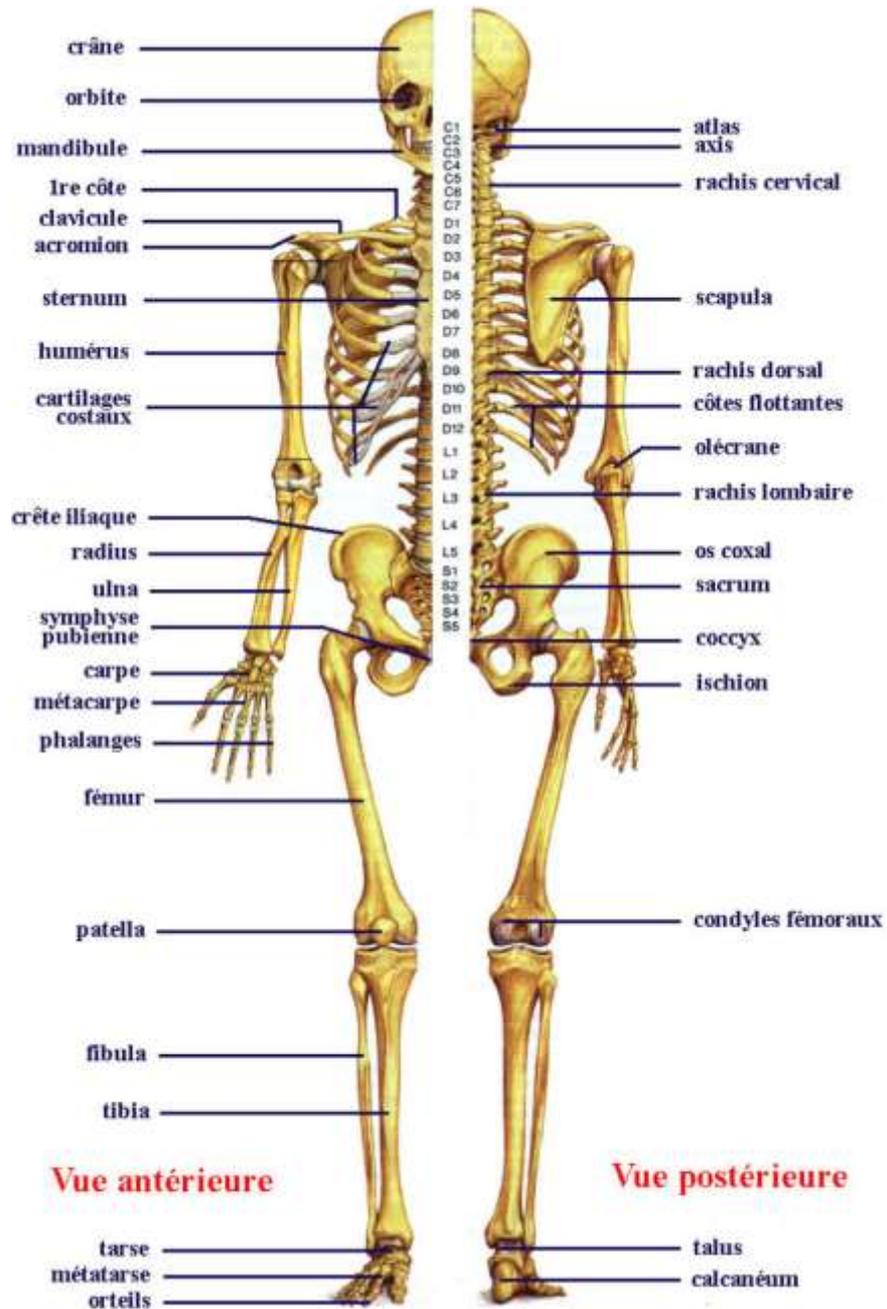


# PHYSIOLOGIE OSTEO- ARTICULAIRE

IMRT UE 2.5



# I/ Le squelette, voir UE anatomie

## A- composition

- Il représente 20% du poids du corps
- Os (206) , Cartilage, Articulation, Ligament

## 1) Squelette axial

80 os , rôle protecteur

- Tête (22 os, 8 crâniens et 14 faciaux)
- Colonne vertébrale ou rachis (26 os)
- Thorax osseux ou cage thoracique

## Os de la tête



## Le crâne

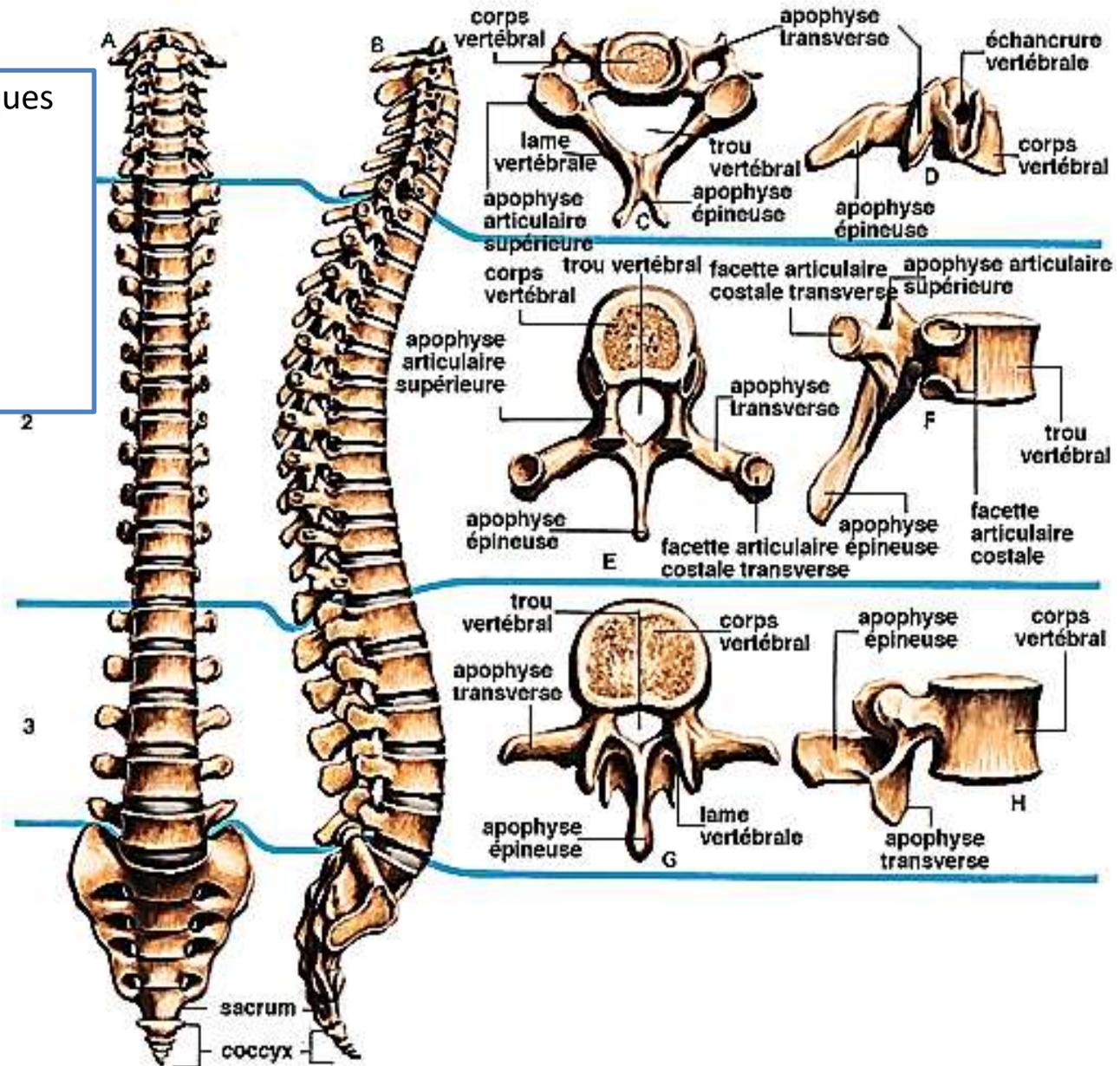
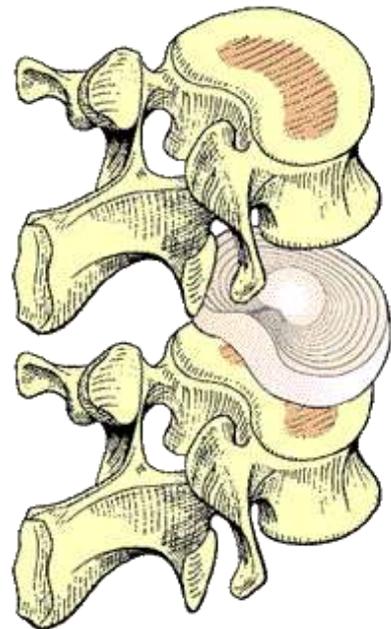
### Os soudés par sutures

- Frontal
- Pariétal (2)
- Occipital
- Temporal (2)
- Sphénoïde
- Ethmoïde

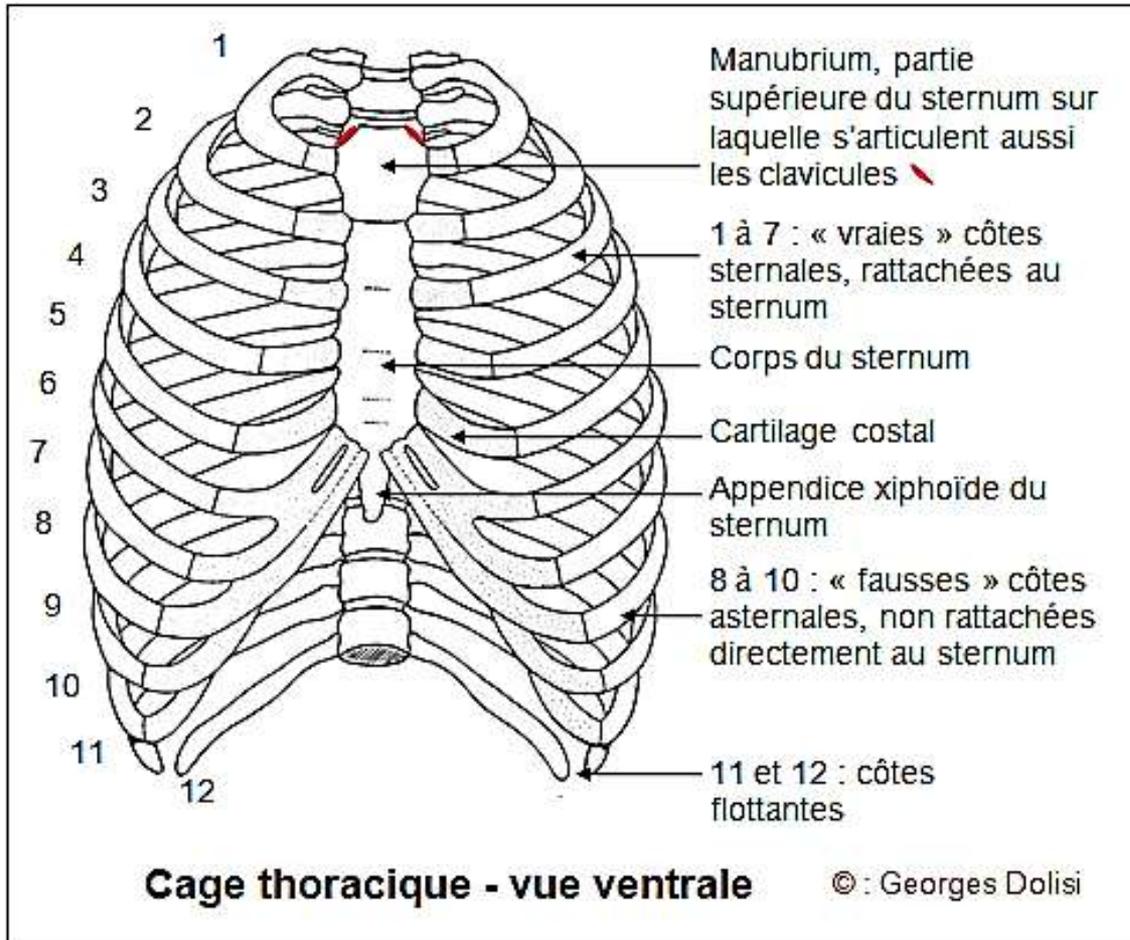
# Le rachis

Composé de vertèbres et de disques

- 7 cervicales
- 12 thoraciques ou dorsales
- 5 lombaires
- Le sacrum (5 soudées)
- Le coccyx (3 ou 4 soudées)

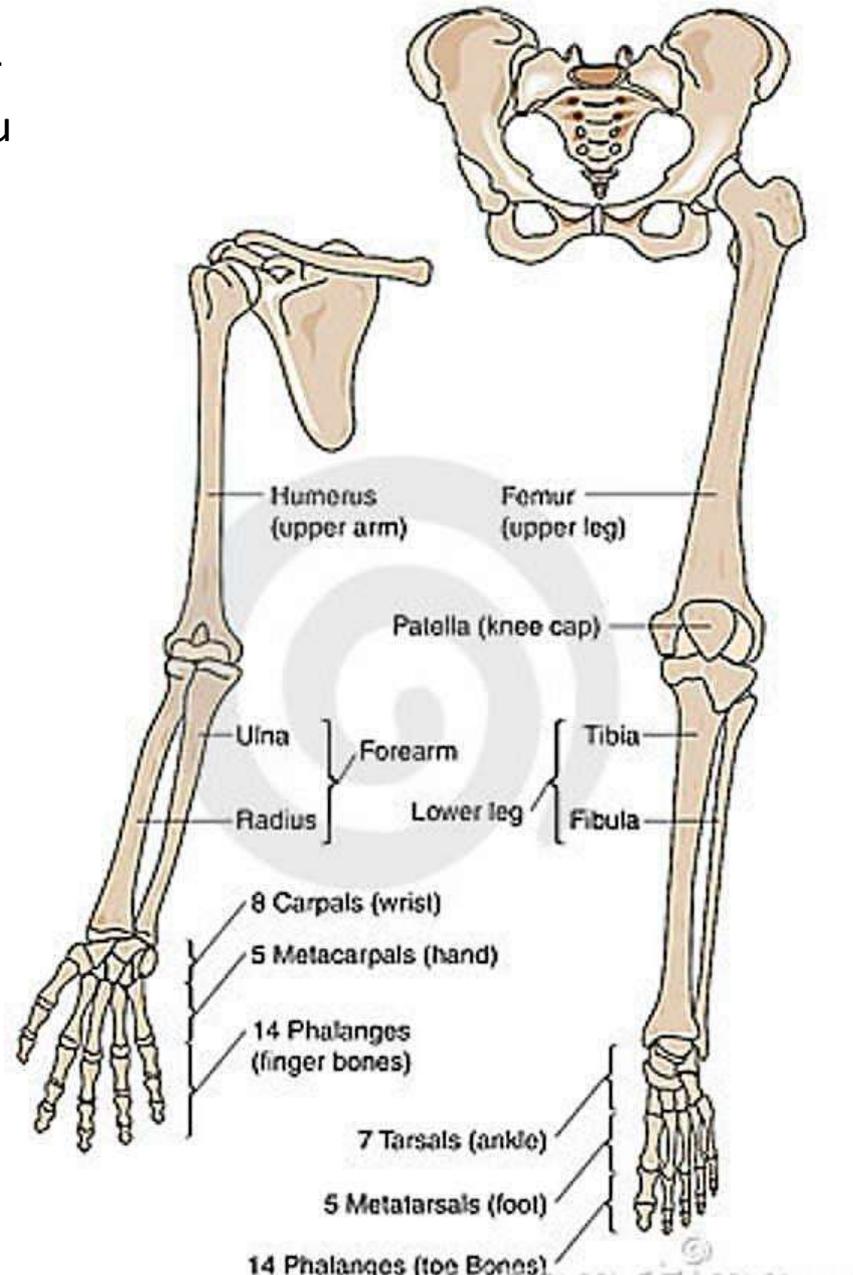


## Thorax osseux



## 2) Squelette appendiculaire

- Les os des membres supérieurs, reliés au squelette axial par la **ceinture scapulaire**
- Les os des membres inférieurs, reliés au squelette axial par la **ceinture pelvienne**



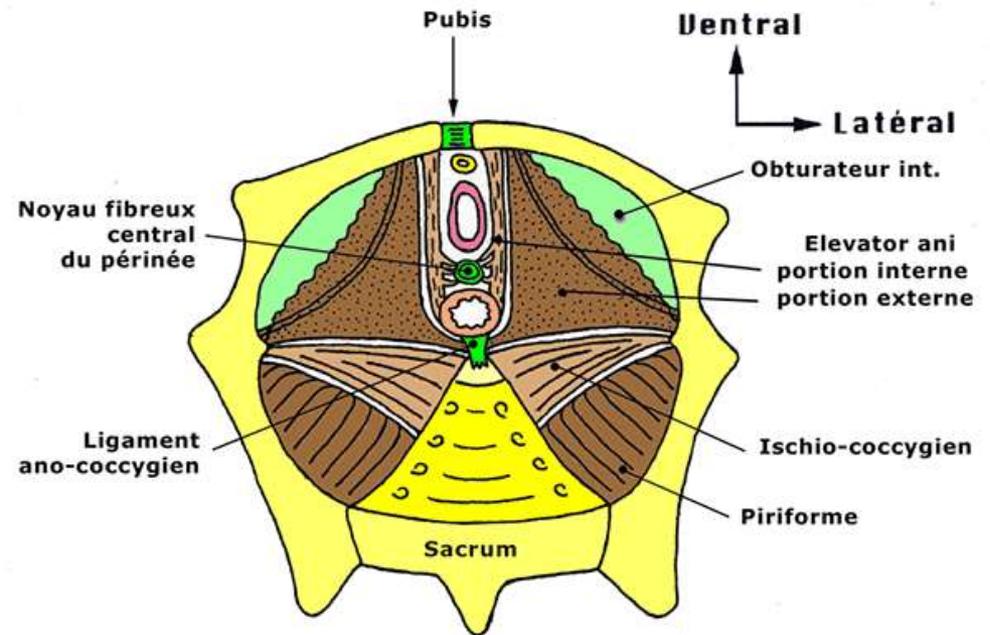
## B/ fonctions du squelette

- **Soutien** : constitue une structure rigide servant de support et d'ancrage aux autres organes
- **Protection** :
  - crâne-encéphale,
  - côtes-cœur et poumons,
  - rachis-MEp
- **Mouvement et posture** : avec muscles squelettiques et tendons
- **Stockage** :
  - de graisses,
  - de minéraux (calcium)
- **Hématopoïèse** = Formation des cellules sanguines

## 1) Soutien

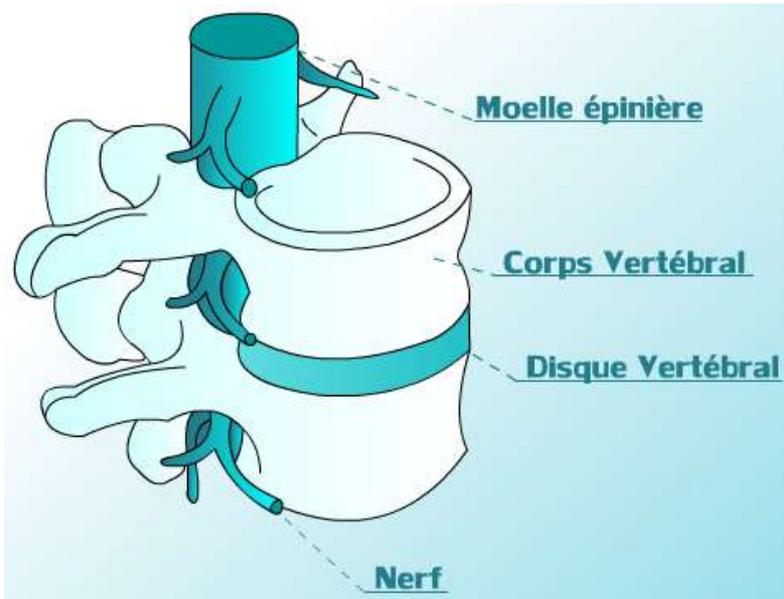
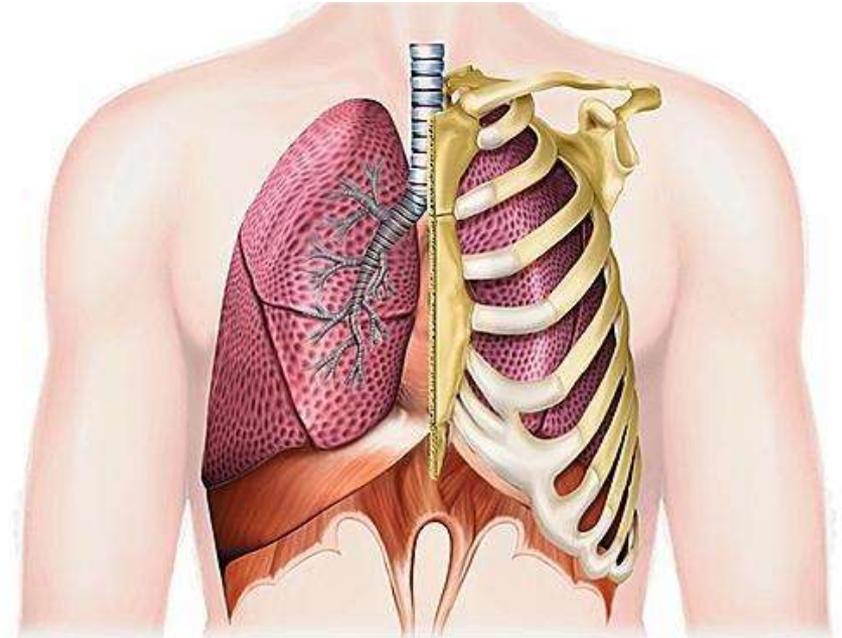
Ancrage des organes via

- des ligaments :
  - Lombo-ovarien
  - Pubo-vésical
  - Ano-coccygien
  - ...
- des tendons pour les muscles

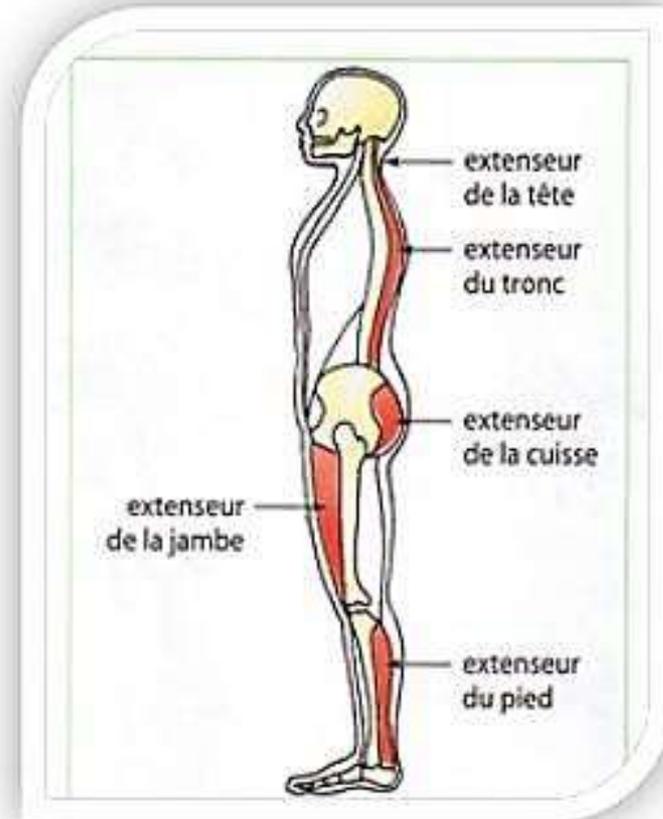
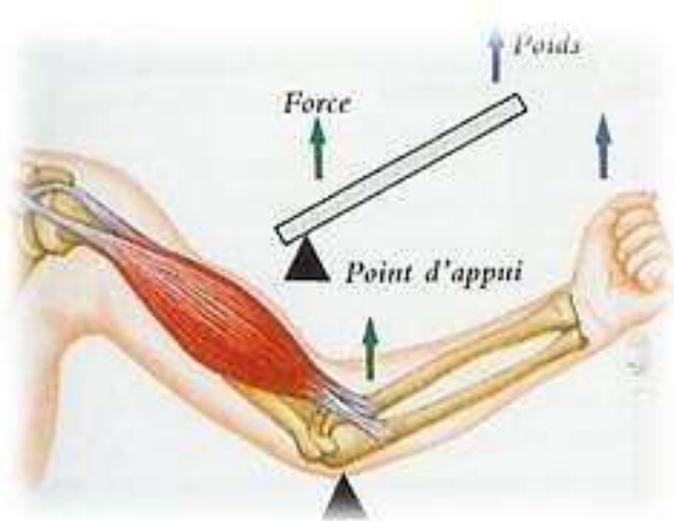


VUE SUPERIEURE DU PELVIS

## 2) protection

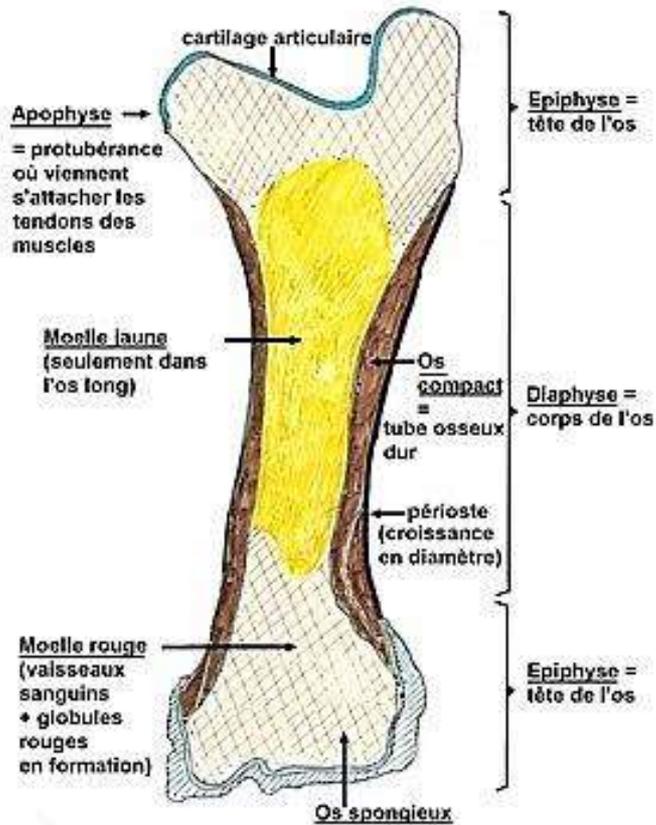


3) mouvement

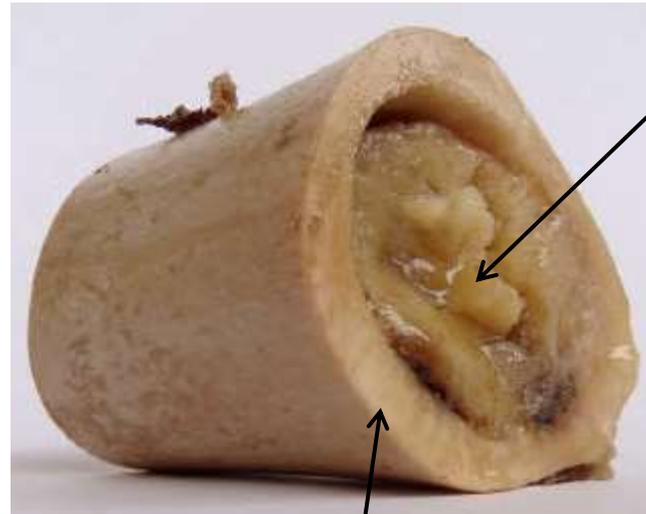


Muscles posturaux. Les muscles impliqués dans la posture « debout » sont des muscles antigravitaires, extenseurs à l'échelle de l'articulation

Le maintien d'une posture particulière consiste à lutter contre l'affaissement du corps sous l'effet de la pesanteur. Cette activité de base est qualifiée de *tonus postural*.



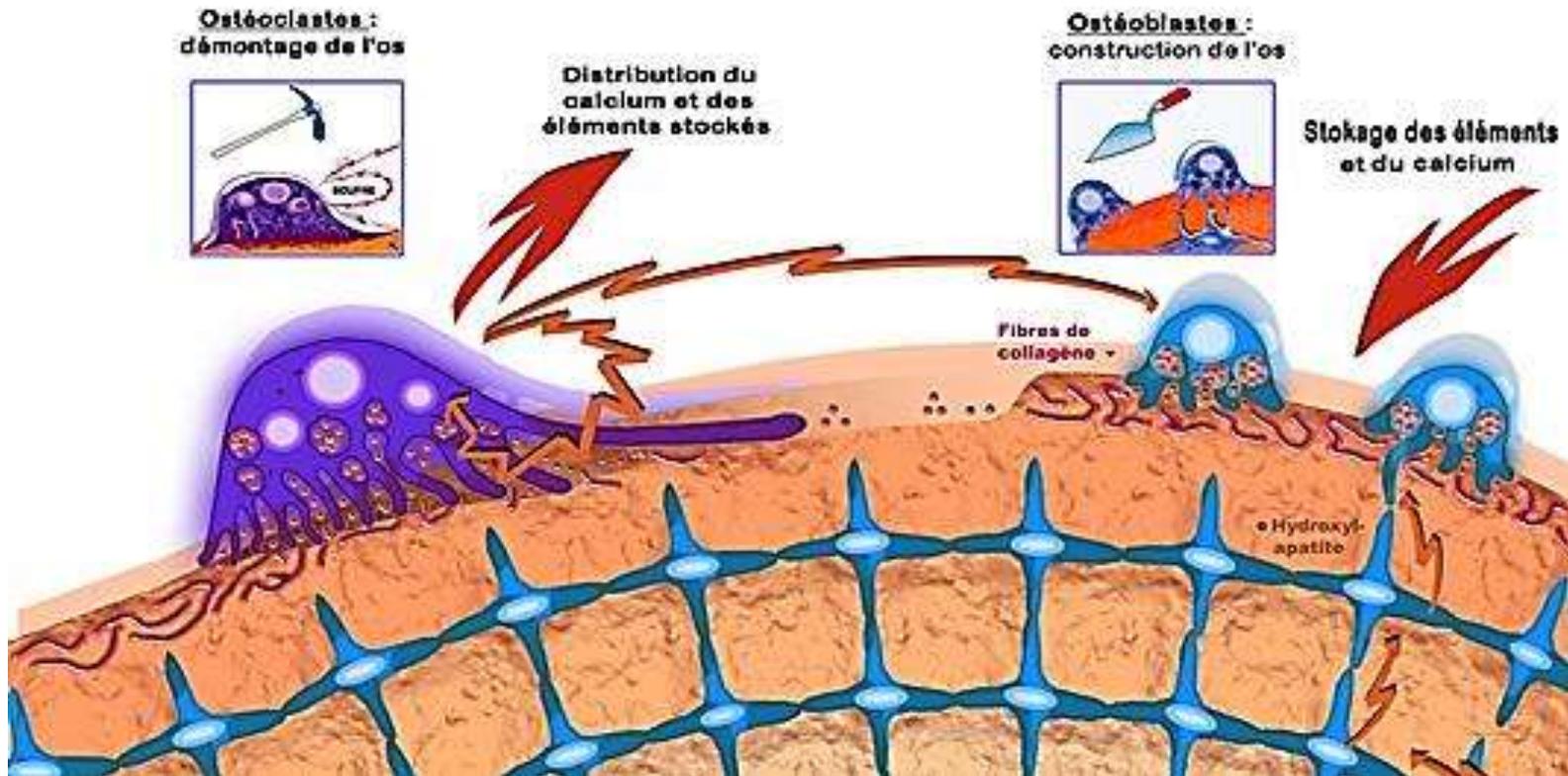
## 4) Stockage De graisse et de minéraux



Graisse,  
moelle  
jaune

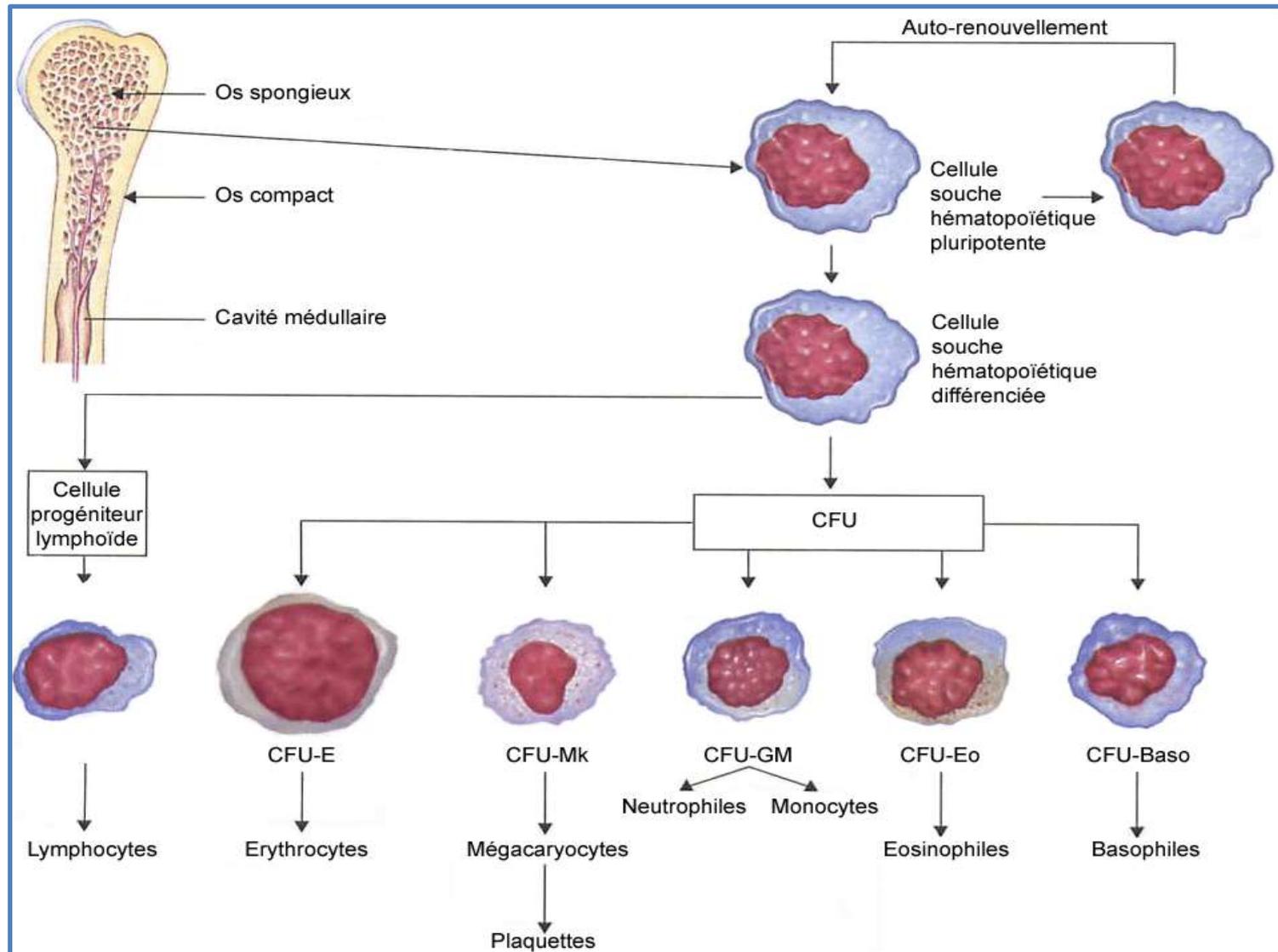
Minéraux,  
calcium

## Rôle de l'os dans l'homéostasie calcique



- maintien de l'équilibre phosphocalcique. Notre squelette renferme 99% du calcium et 90% du phosphore de l'organisme, qui jouent un rôle biologique prépondérant dans la vie cellulaire, la transmission nerveuse et la coagulation sanguine.

## 5) Hématopoïèse, dans moelle osseuse rouge



# II/ Cartilages

## 1) Composition

Tissus conjonctifs à MEC (matrice extra cellulaire) rigide, non minéralisée, non innervée et non vascularisée

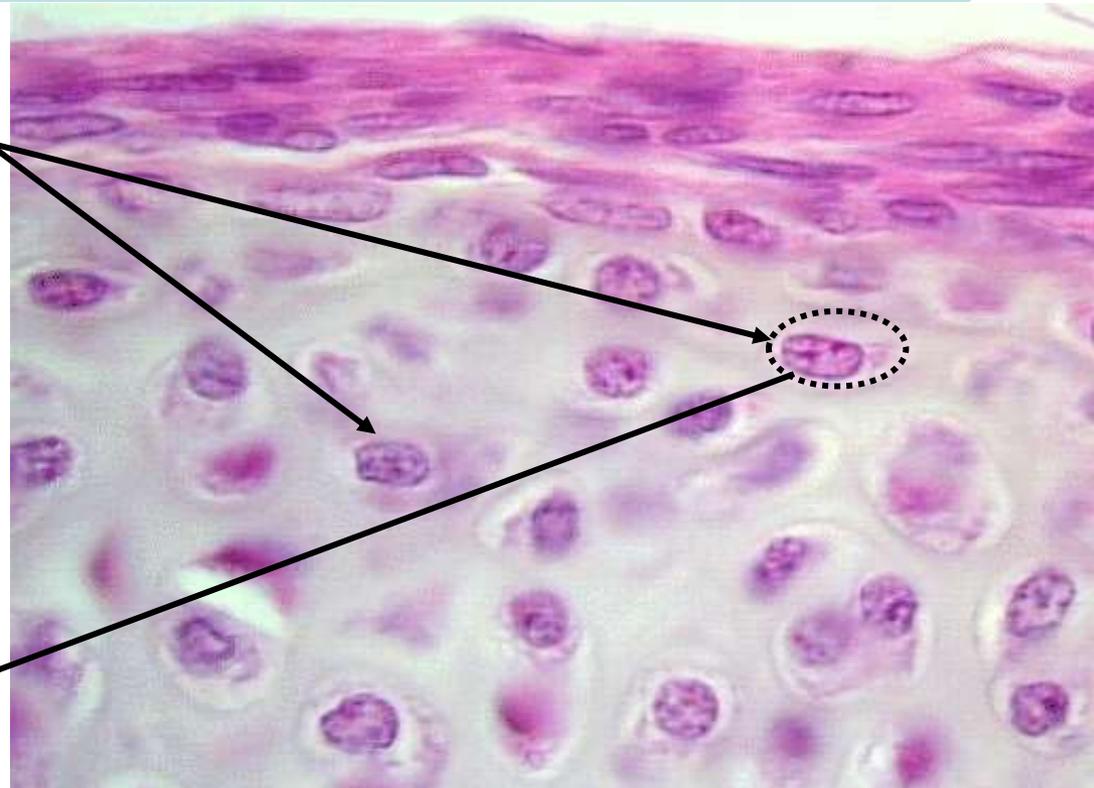
Unique type cellulaire des  
tissus cartilagineux:

### les chondrocytes

Cellules sphériques ou ovoïdes  
occupant 1% à 10% du volume  
tissulaire selon la localisation



Inclus dans des petites logettes,  
les **chondroplastes**,  
dont ils occupent tout le volume

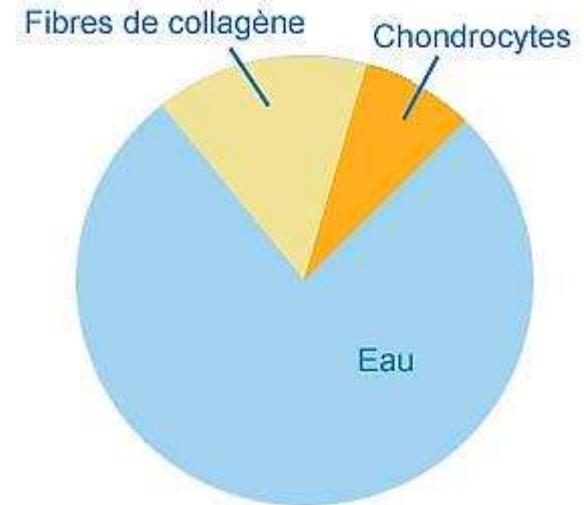


La matrice extracellulaire ou substance fondamentale est composée de mucopolysaccharides (glycoprotéines) qui retiennent l'eau, et de fibres de collagène et élastine

L'aspect de la matrice permet de distinguer trois types de cartilage:

- **le cartilage hyalin,**
- **le cartilage fibreux**
- **le cartilage élastique.**

Chez l'adulte, le cartilage hyalin est entouré (à l'exception du cartilage articulaire) d'un **périchondre** = Couche de tissu conjonctif entourant le cartilage et contenant vaisseaux sanguins et nerfs



## 2) Le cartilage hyalin

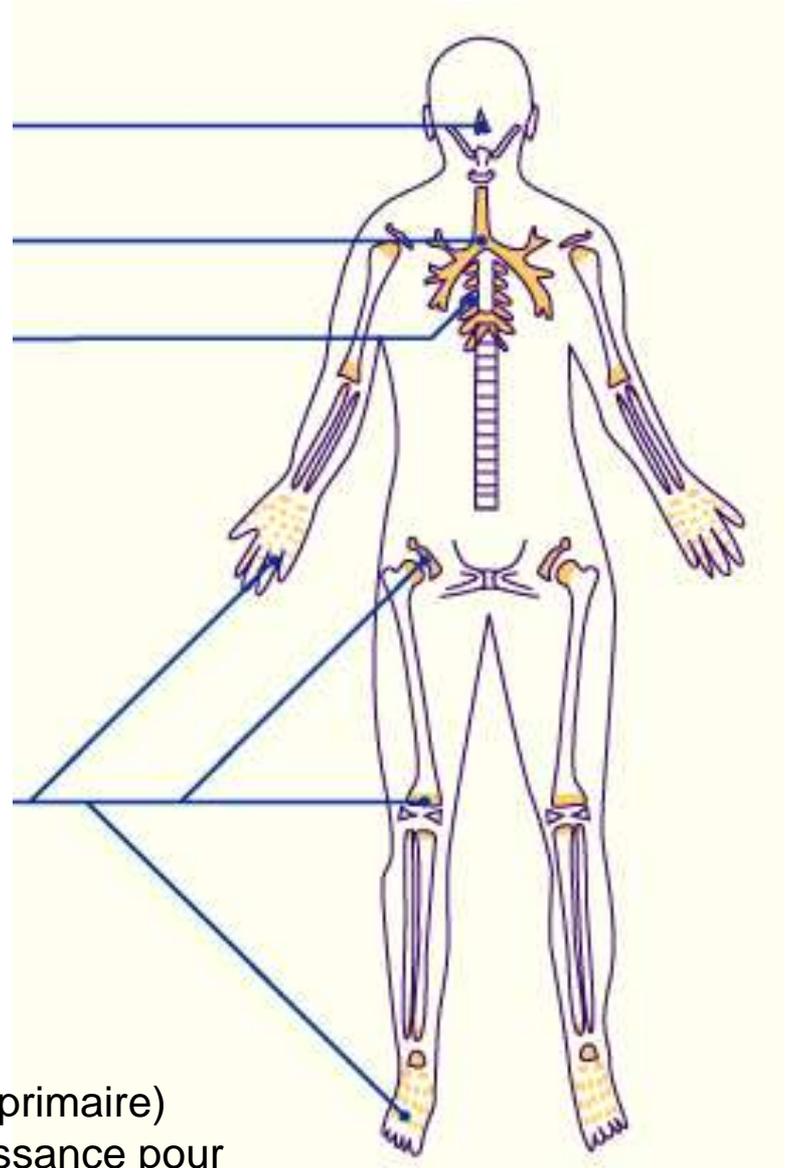
- Le plus répandu dans l'organisme
- Aspect vitreux de la MEC (absence de fibres visibles en microscopie photonique)
- Collagène de type II, dont l'orientation dépend des forces mécaniques s'y exerçant



Localisation du  
cartilage hyalin

Cartilage nasal  
Cartilage des voies aériennes  
supérieures  
Cartilages costaux

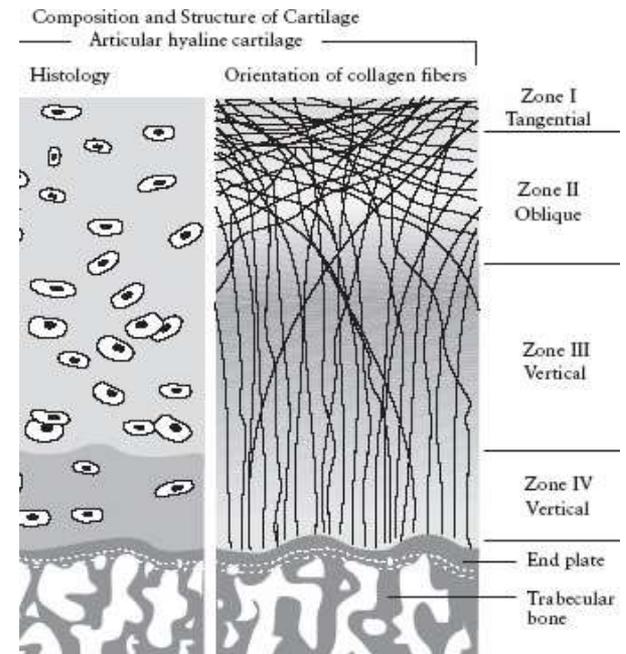
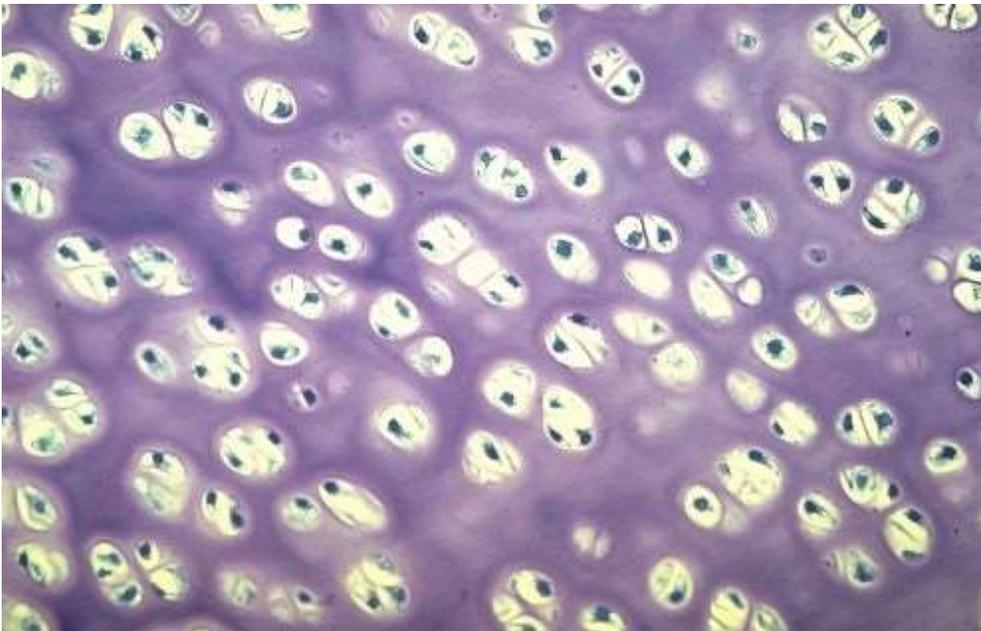
Cartilages articulaires



- squelette temporaire chez l'embryon (squelette primaire)
- plaque de croissance épiphysaire (zone de croissance pour l'élongation des os)

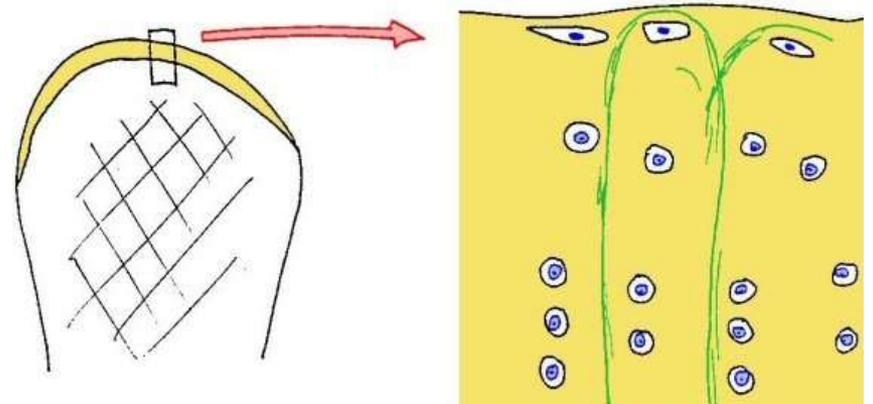
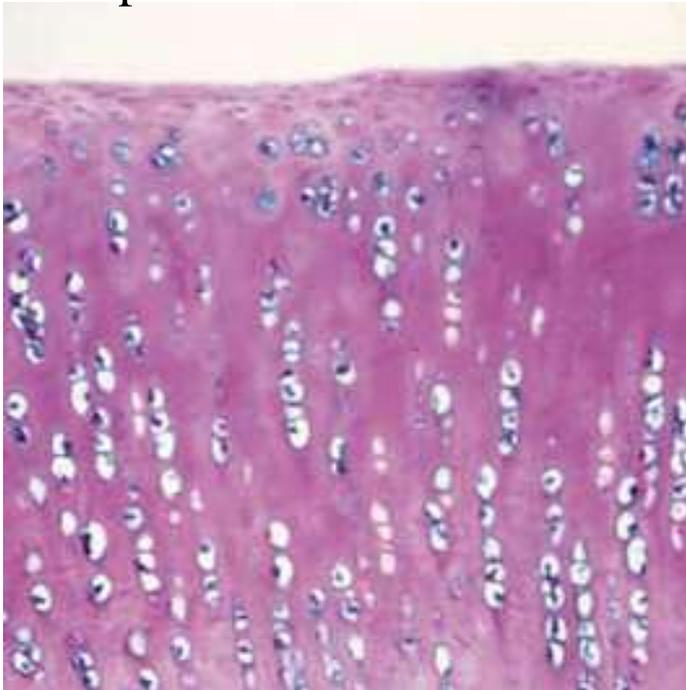
Le **cartilage articulaire** possède deux principales fonctions :

- permet le **glissement des os sans difficulté** et sans douleur.  
Le cartilage ne contient pas de fibres nerveuses, il ne peut donc transmettre aucune information au cerveau, ce qui rend le mouvement imperceptible.
- **diminution des contraintes mécaniques imposées à l'articulation** grâce à une **extraordinaire capacité d'amortissement** et de répartition des pressions

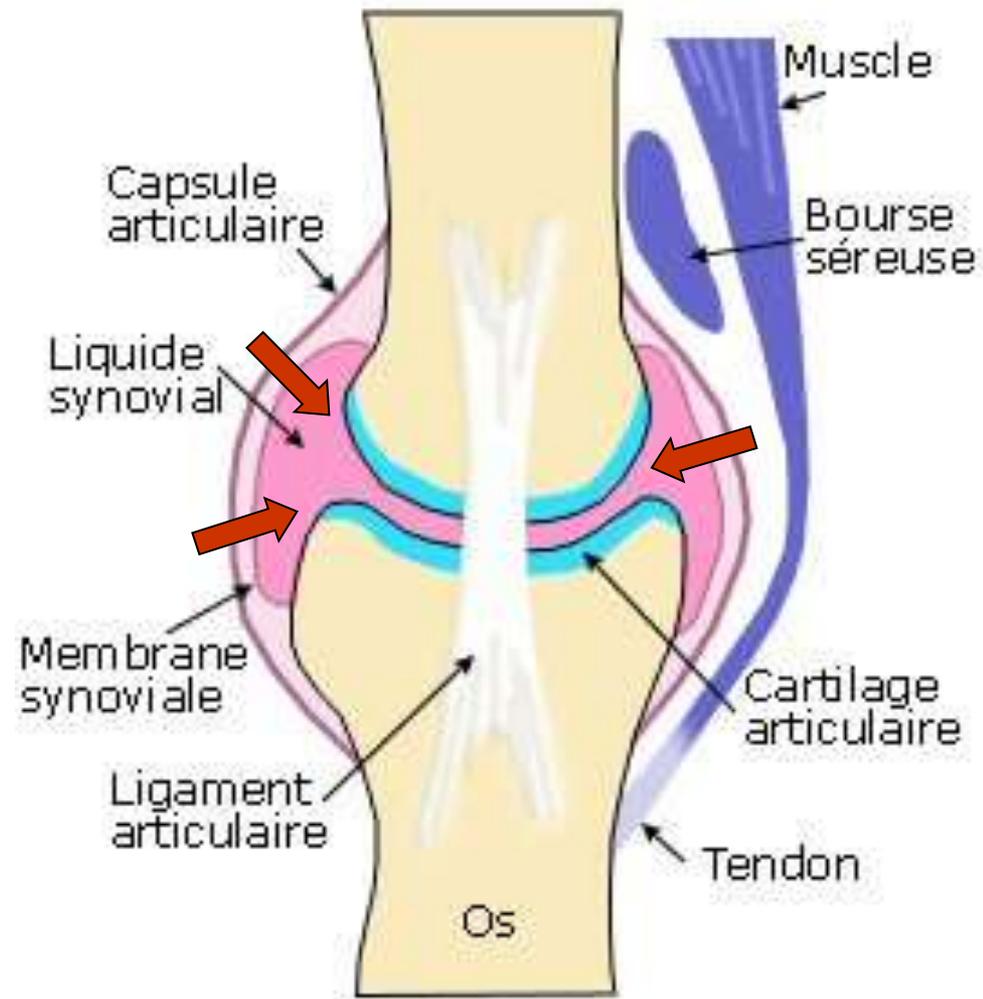


## Cas particulier des cartilages articulaires

- Aspect « nacré » de la surface articulaire dû à l'orientation particulière des fibres qui deviennent parallèles à la surface
- Chondrocytes en colonnes en profondeur et aplatis vers la surface
- Pas de périchondre

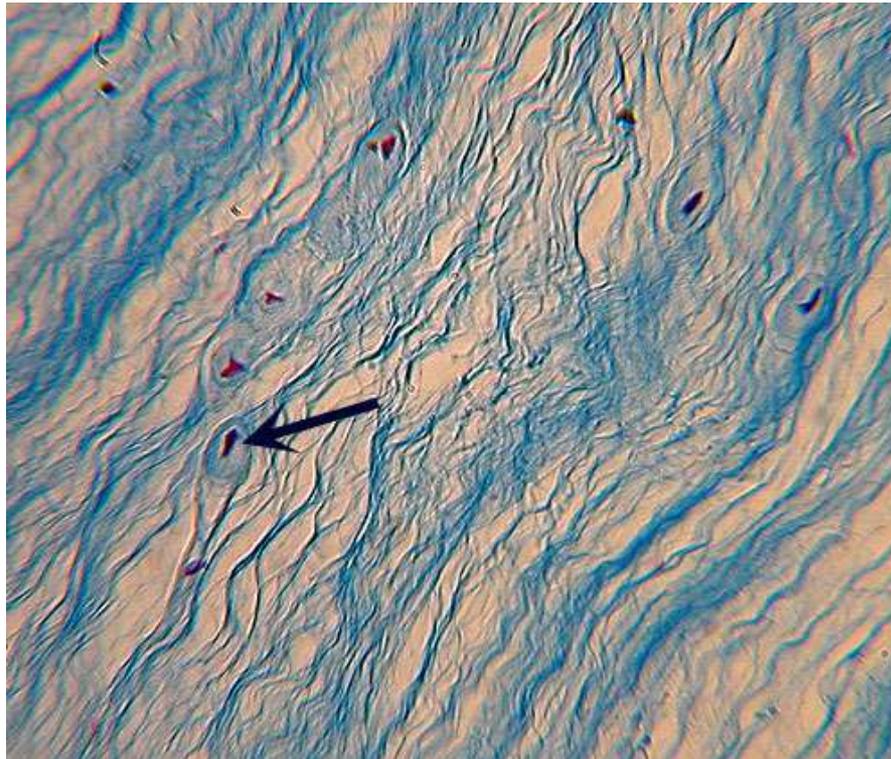


- La nutrition des cartilages articulaires se fait par diffusion à travers le liquide synovial produit par la membrane synoviale, face interne de la capsule articulaire



### 3) Le cartilage fibreux

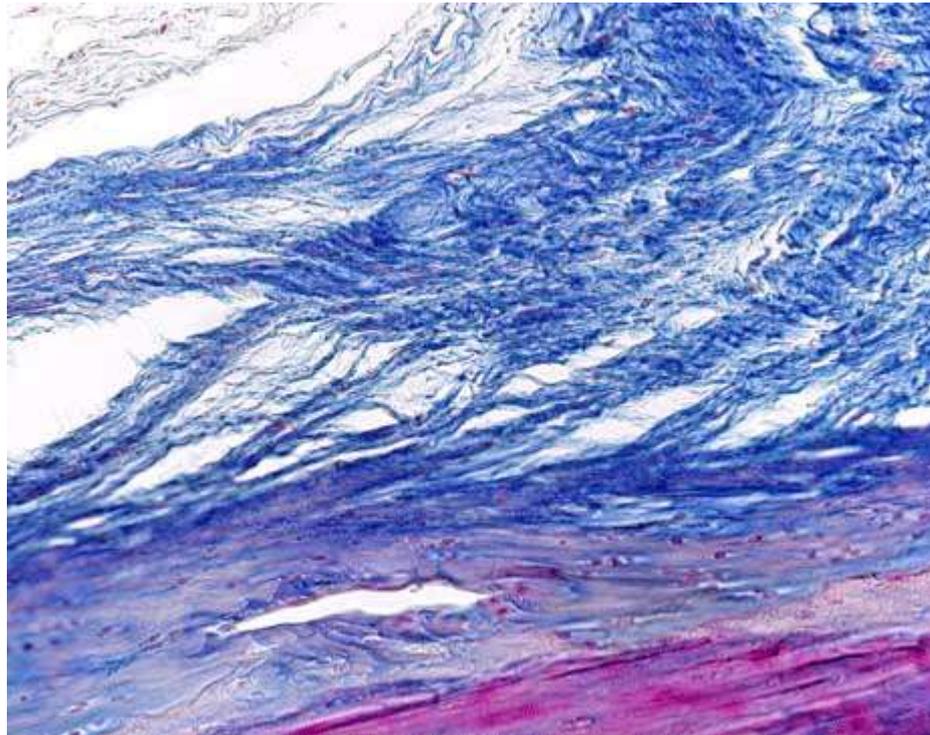
- MEC riche en faisceaux de fibres de collagène visibles en microscopie photonique
- Orientation selon les forces mécaniques
- Aptitude à résister à de très fortes pressions tout en gardant une certaine souplesse, résiste à la compression et à l'étirement



**Le cartilage fibreux** contient beaucoup de fibres de **collagène de type I**.

Les chondrocytes (qui sont presque toujours isolés et pas en groupe isogénique) sont alignés à cause de la pression qu'exercent les fibres sur eux.

Il ne possède **pas de périchondre**. Le cartilage fibreux est donc nourrit par le **tissu conjonctif dense** se situant au-dessus de lui.



## Localisation du cartilage fibreux

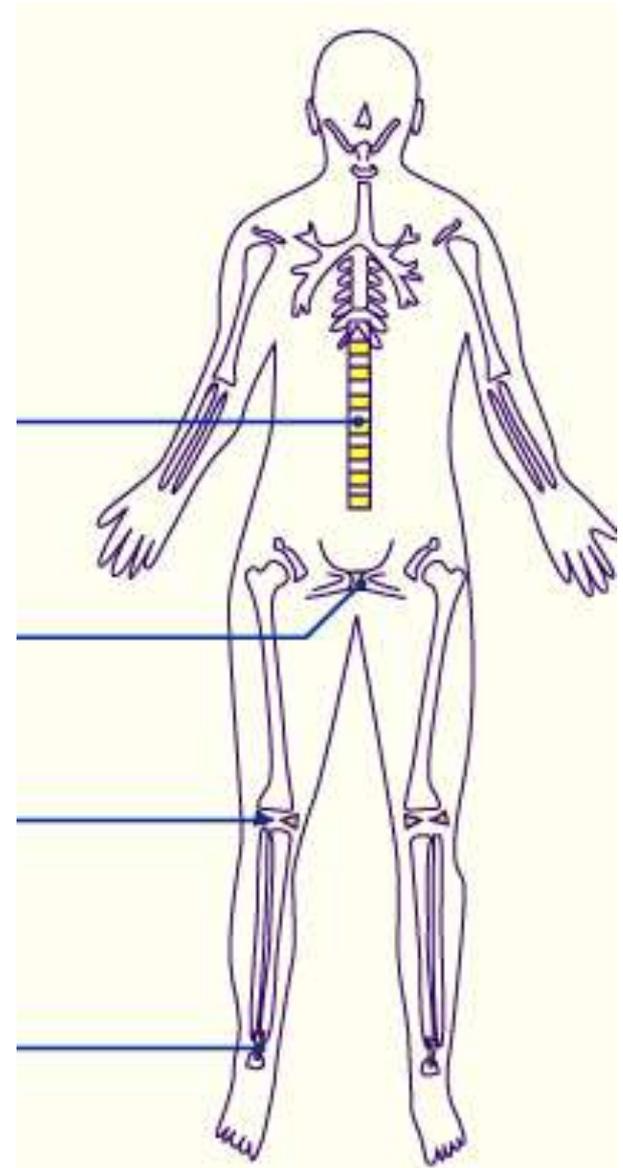
Disques inter-vertébraux

Symphyse pubienne

Ménisques articulaires

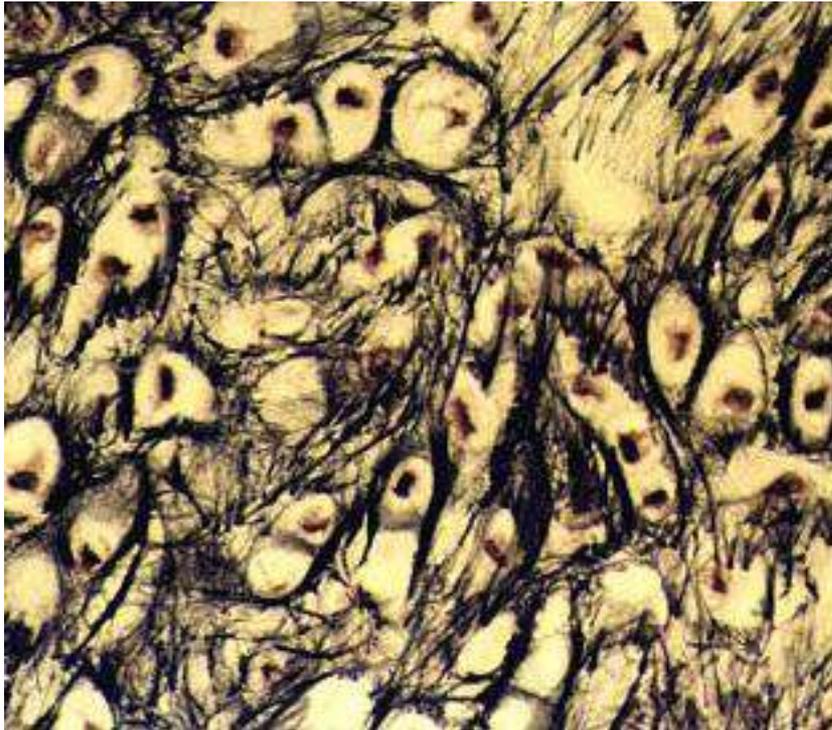
Insertion du tendon d'Achille  
(association avec du TC dense)

Endroit d'insertion des ligaments et des tendons dans l'os (fibres de Sharpey)



## 4) Le cartilage élastique

- Densité importante en chondrocytes (**contient plus de cellules que de matrice extracellulaire**)
- Il est entouré d'un périchondre
- Réseau 3D de fibres élastiques sans orientation préférentielle
- résiste à des flexions répétées

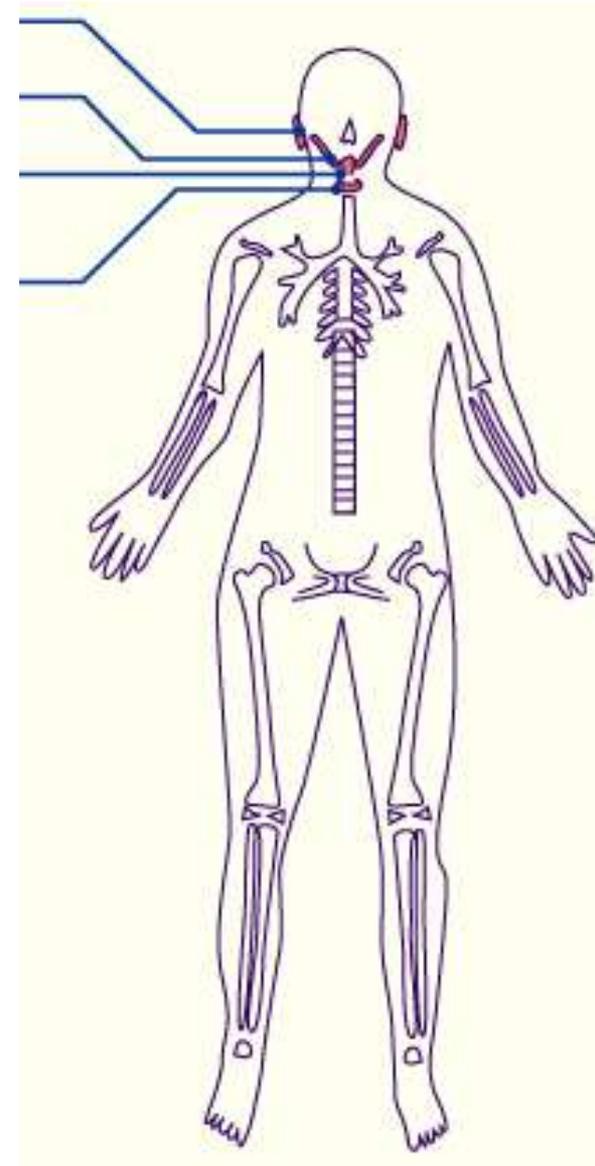


Pavillons des oreilles

Trompes d'Eustache

Ailes du nez

Epiglote



# III/ Structure et composition de l'os

## A/ Classification

Selon forme :

- Os longs (fémur)
- Os courts (tarses)
- Os plats (crâne)
- Os irréguliers (vertèbres)

Tailles très différentes

- Fémur 60 cm
- Os de l'oreille (étrier)  
quelques millimètres

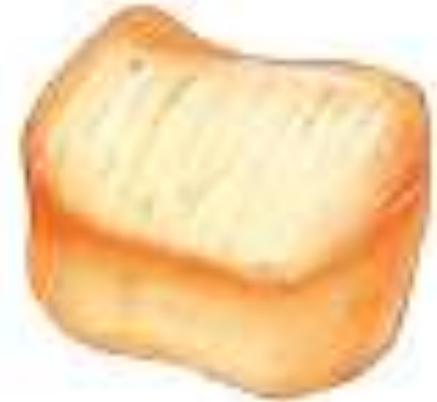
## Os longs

- \* plus longs que larges
- \* 1 corps + 2 extrémités
- \* surtout **os compact**
- \* os des **membres**  
(sauf poignets et chevilles)



## Os courts

- \* +/- cubiques
- \* surtout *os spongieux*
- \* os des *poignets et chevilles*
- \* type particulier: os sésamoïde (rotule)



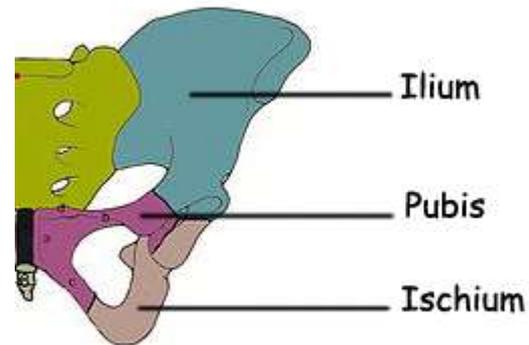
## Os plats

- \* minces, aplatis et en général légèrement courbés
- \* couche d'os spongieux entre 2 couches d'os compact
- \* *sternum*, *côtes*, *os du crâne*



## Os irréguliers

- \* ceux qui ne font pas partie des autres catégories!!
- \* *vertèbres, os iliaque ou coxal*

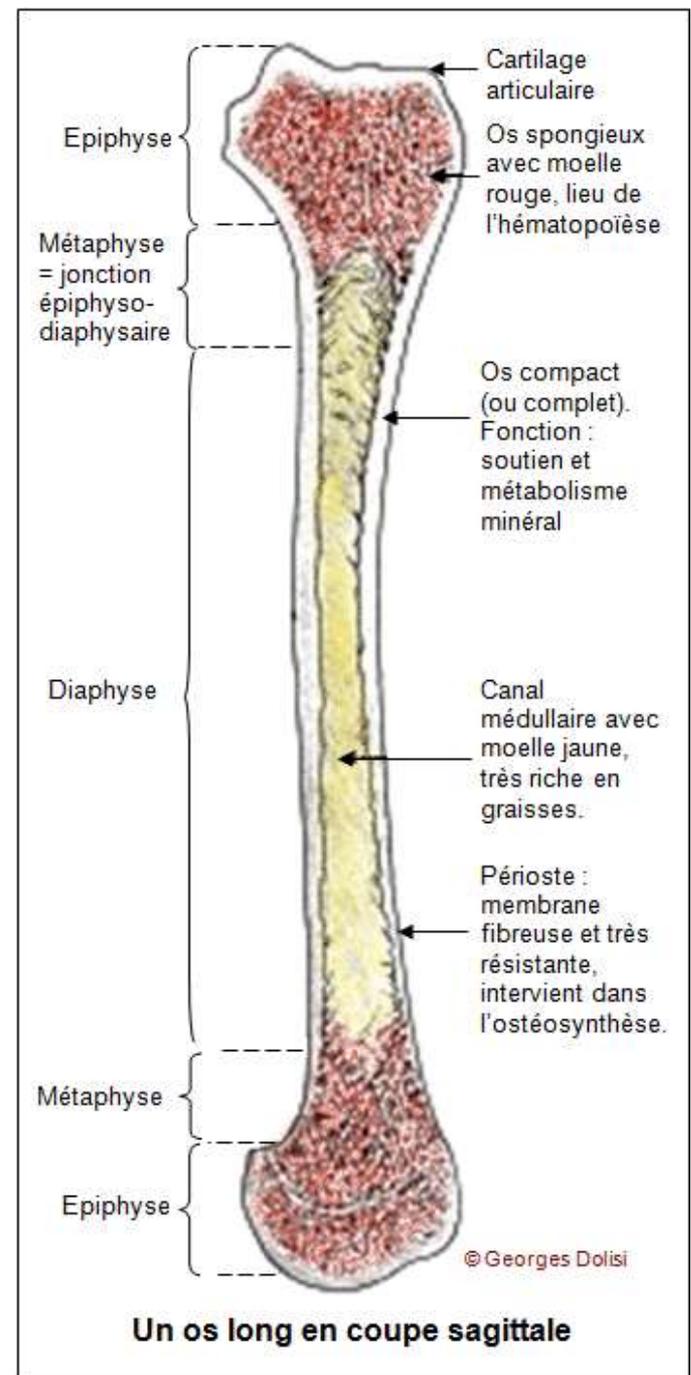


## B/ Anatomie macroscopique des os



# 1) Structure des os longs

- Diaphyse et épiphyse
- Périoste, endoste
- Os compact et os spongieux
- Moelle osseuse rouge et jaune



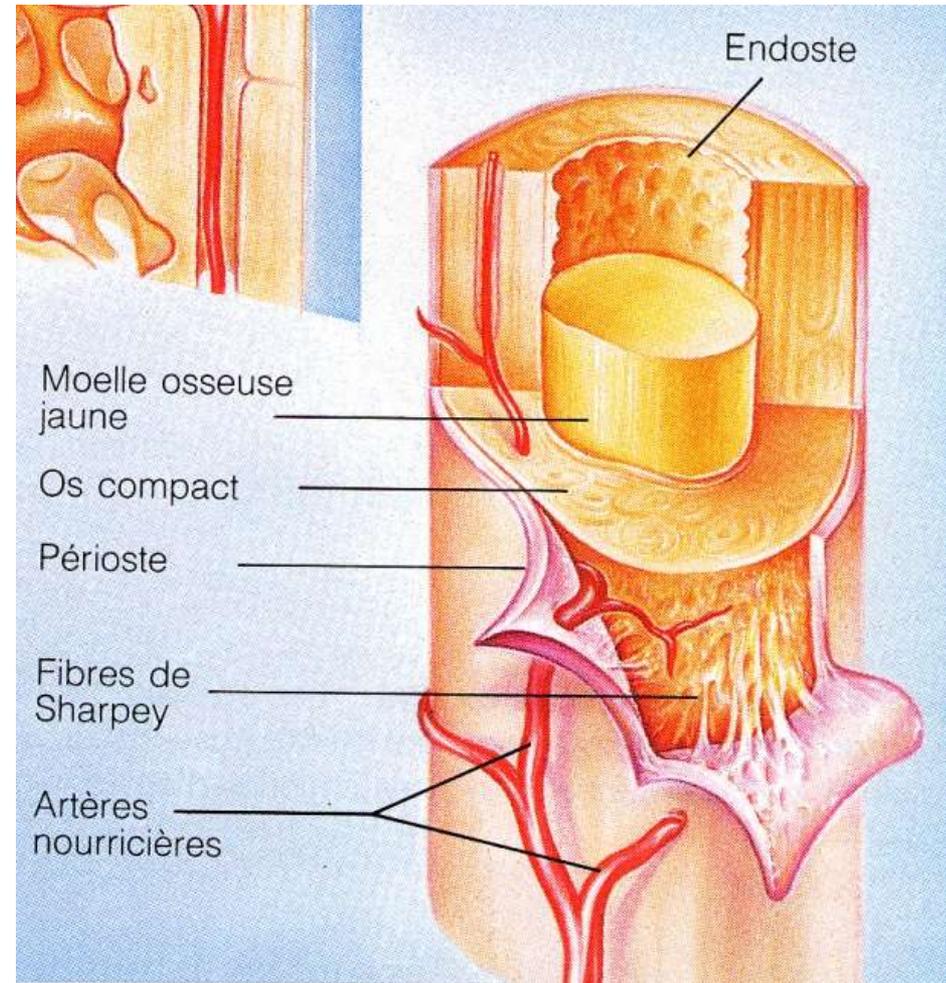
## Le périoste

- Permet l'insertion des tendons et ligaments sur l'os
- Renferme un grand nombre de vaisseaux sanguins qui contribuent à l'irrigation de l'os.
- Doté d'une innervation importante, (douleur).

## L'endoste.

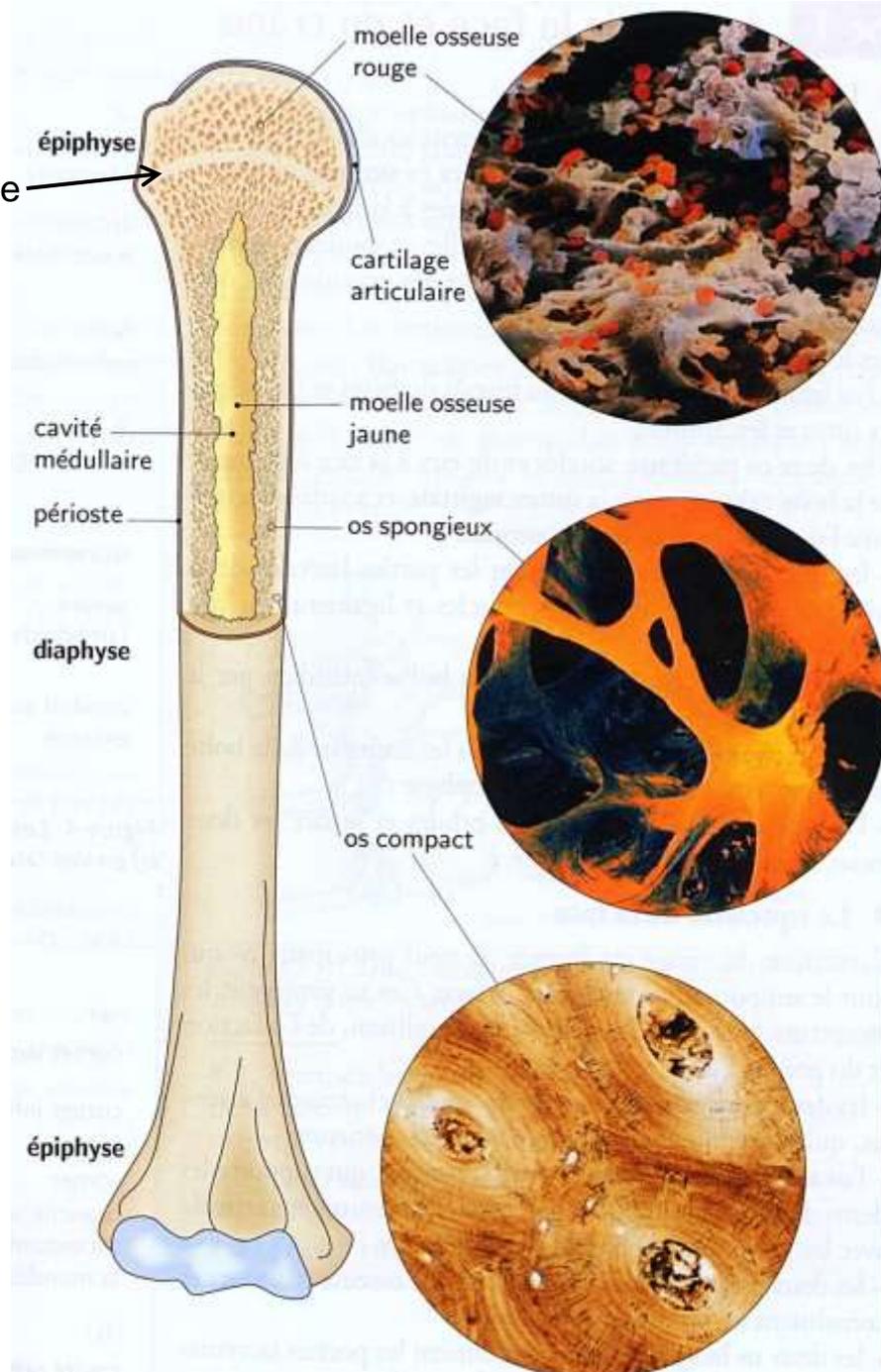
Tapisse la cavité médullaire au contact

- de l'os compact (endoste cortical),
- des travées (ou trabécules) osseuses de l'os spongieux (endoste trabéculaire)
- ainsi que les canaux de Havers.



# Os compact/os spongieux

Ligne épiphysaire



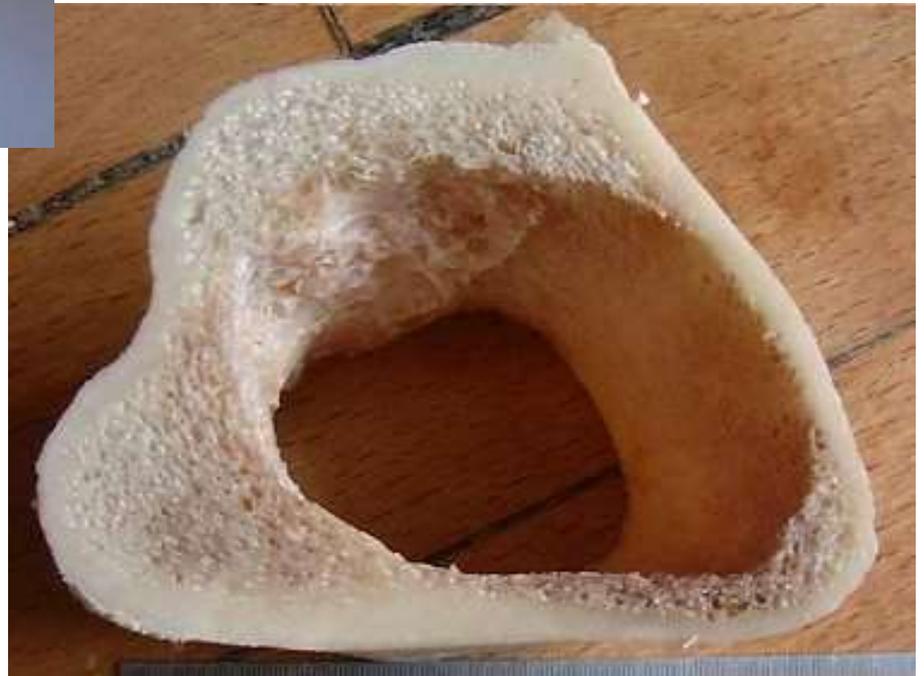
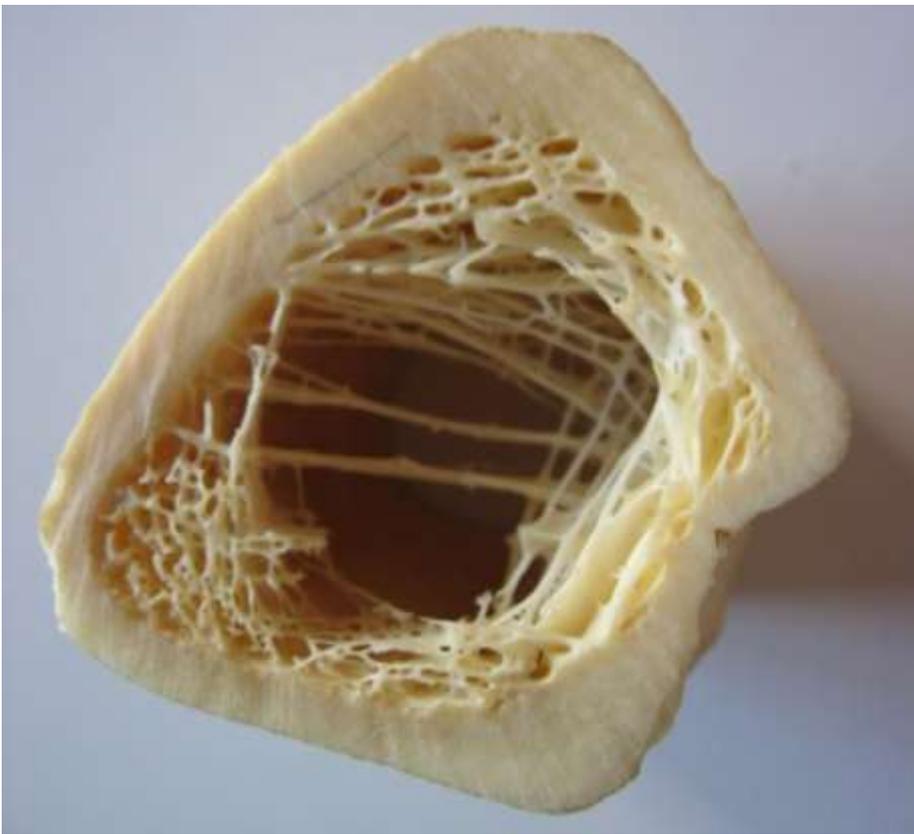


# Os compact ou cortical

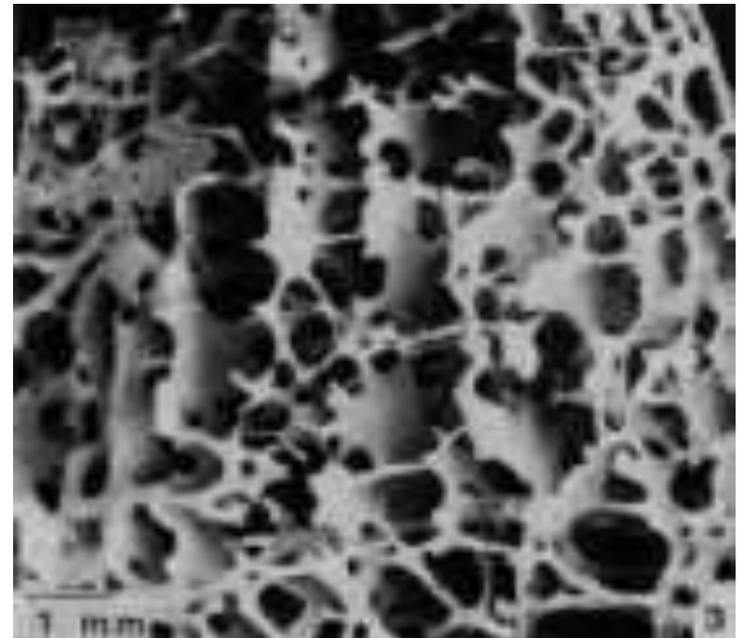
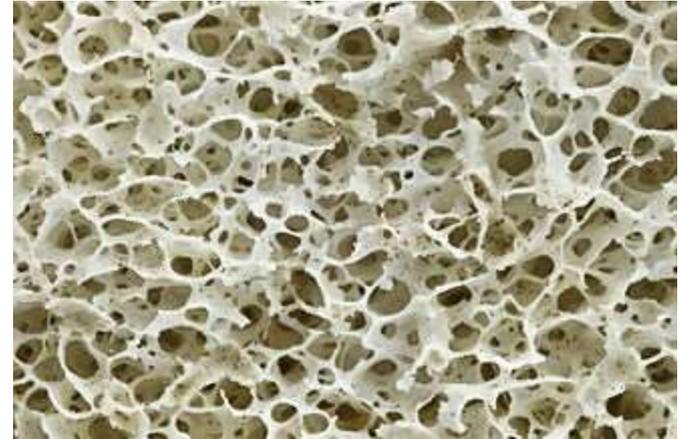
- Rôle : Soutien et métabolisme minéral
- 80% du squelette
- Structure : L'os compact est formé d'ostéons

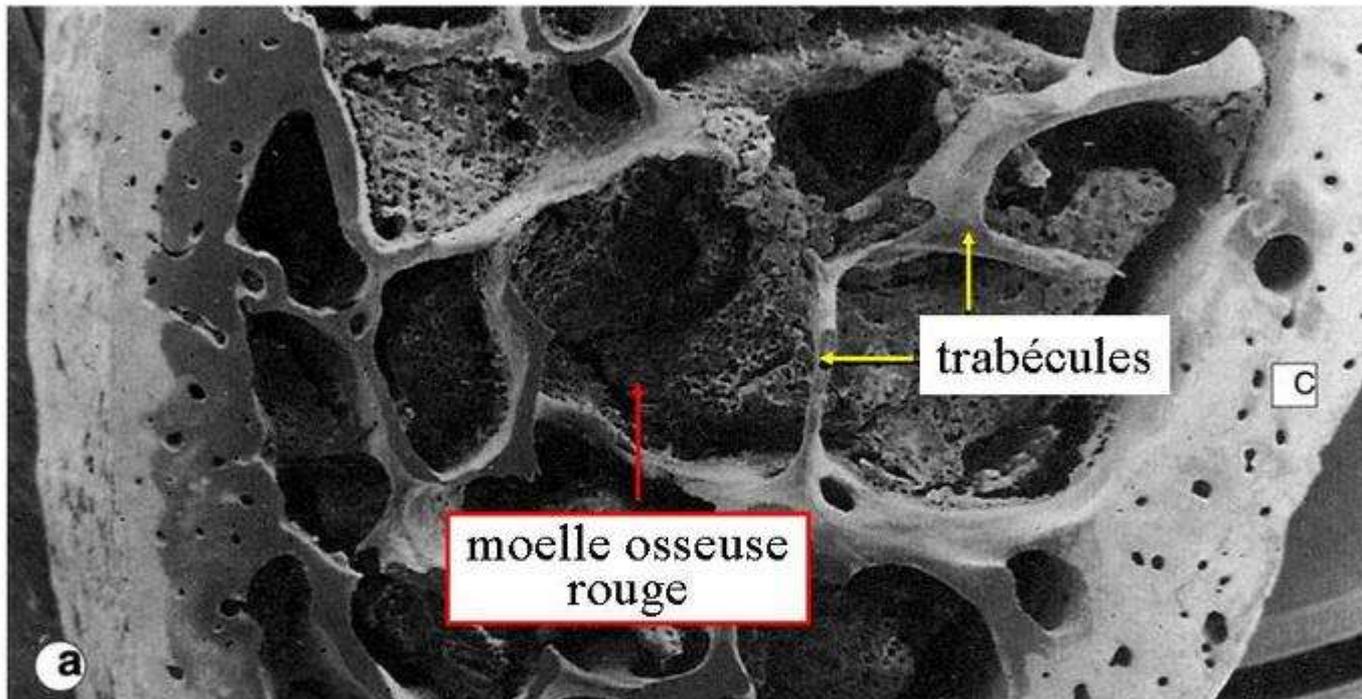


Graisse,  
moelle jaune

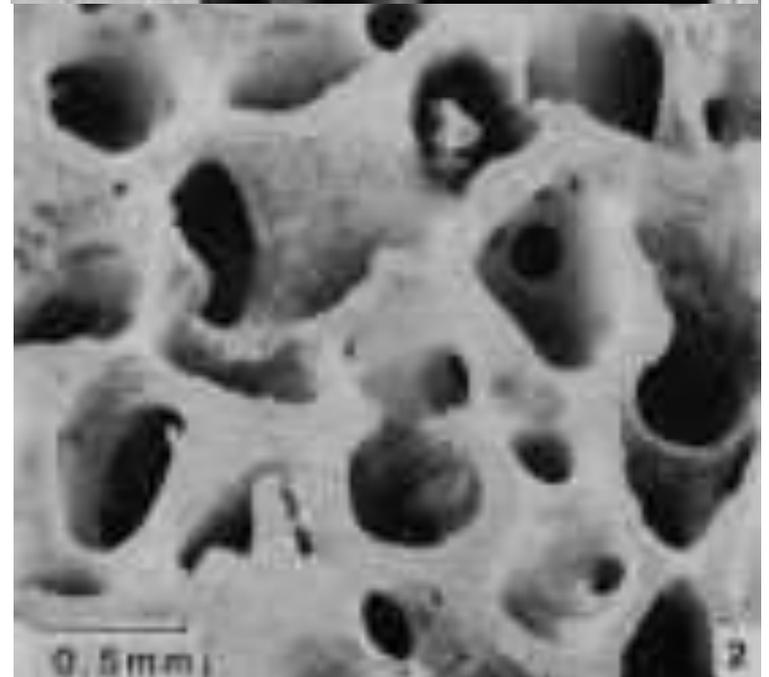
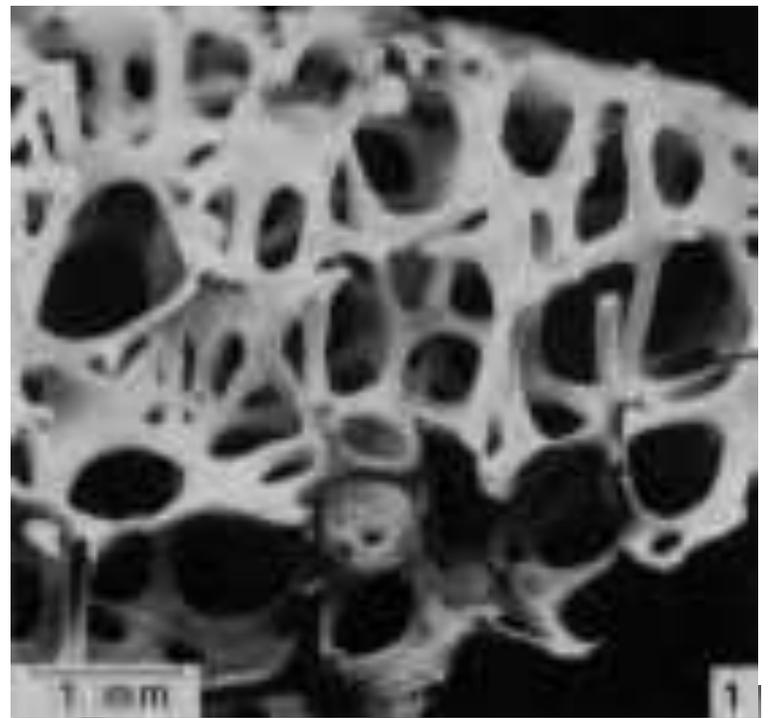


# Os spongieux ou trabéculaire

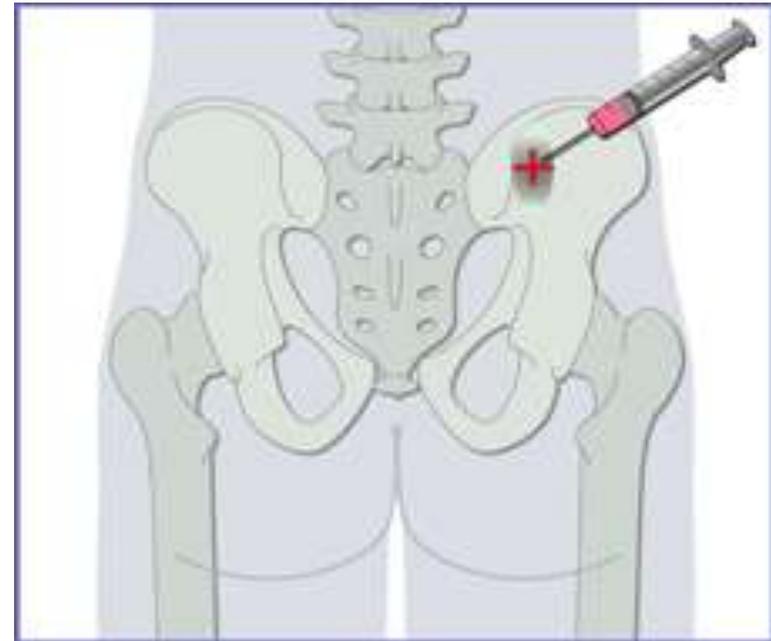
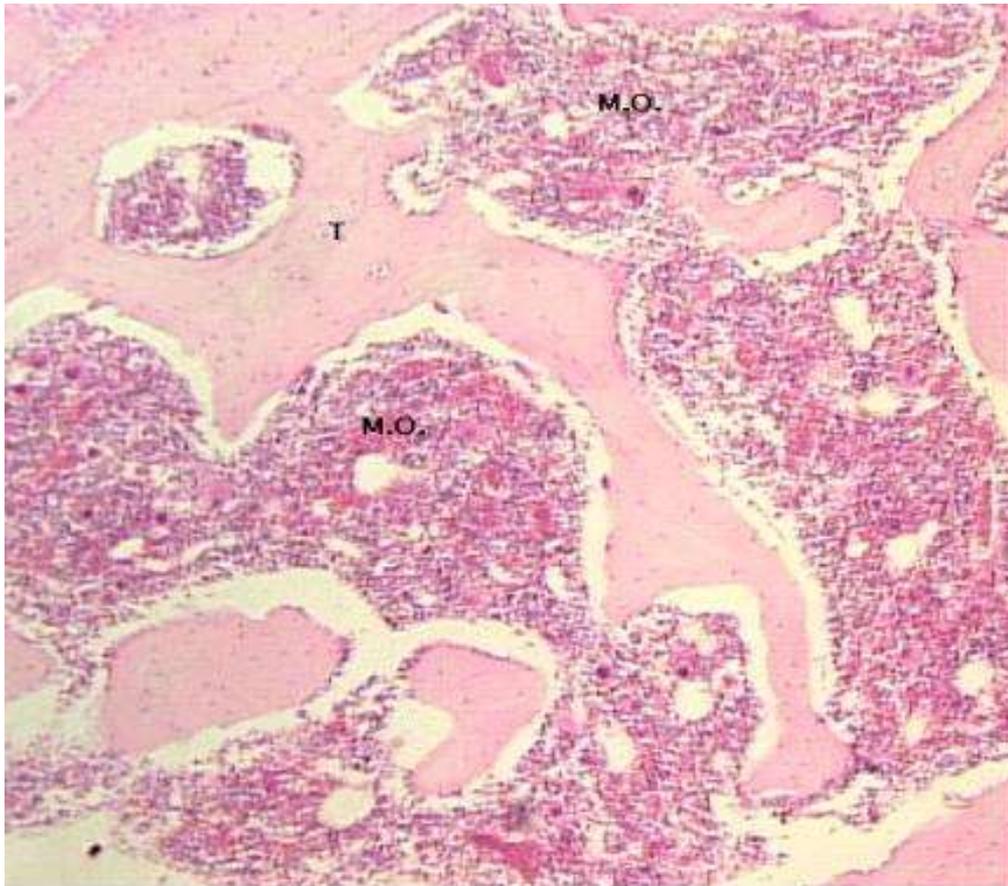




↑ os compact      ↑ os trabéculaire      ↑ os compact

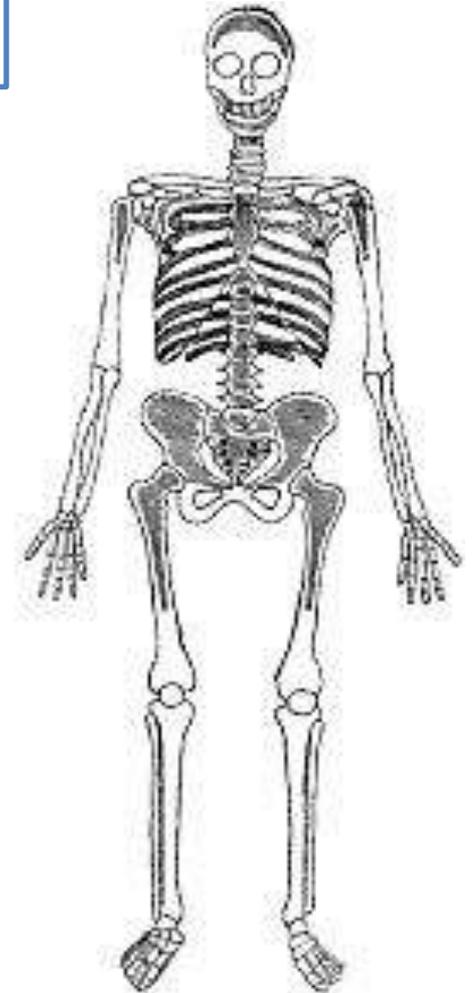


Renferme la moelle osseuse rouge =  
cellules souches sanguines,  
rôle hématopoïèse



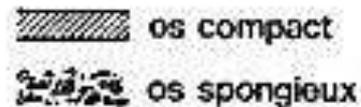
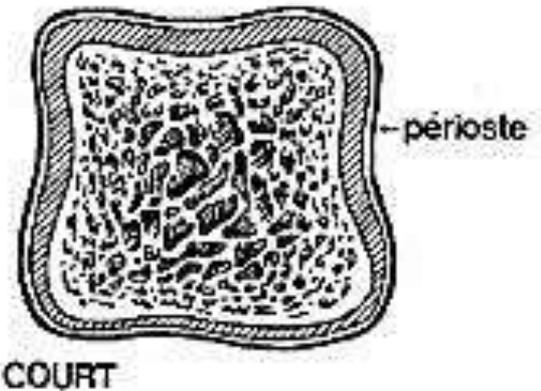
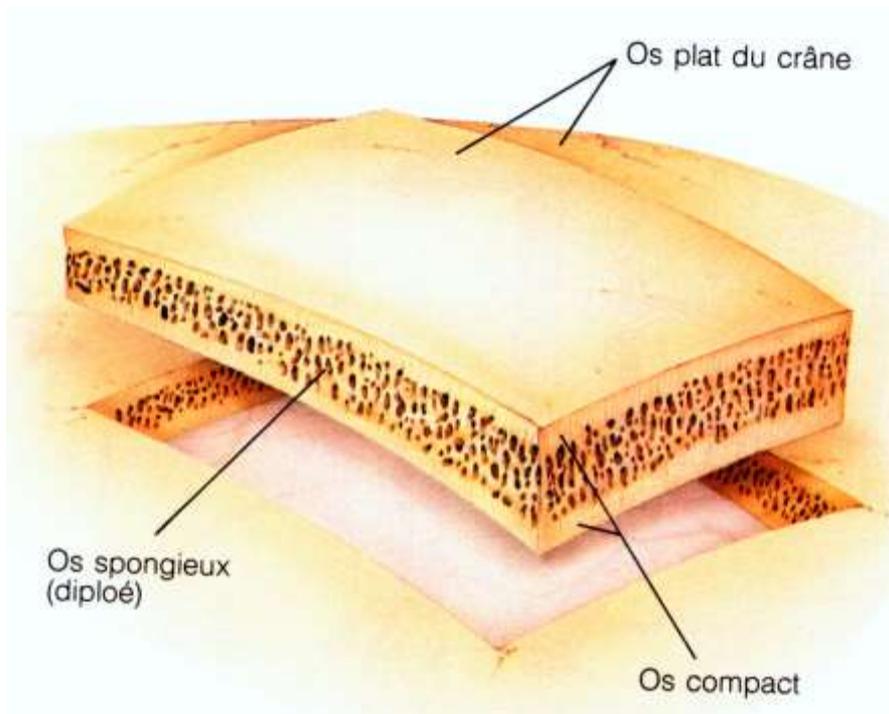
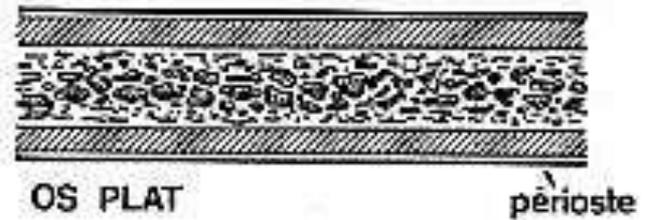
## Répartition de la moelle osseuse dans les os du squelette humain en fonction de l'âge

|                       | Age (années) |      |      |      |
|-----------------------|--------------|------|------|------|
|                       | 1            | 10   | 25   | 40   |
| Tête et cou           | 28,5         | 15,4 | 12,3 | 12,3 |
| Thorax                | 12,4         | 16,8 | 21,9 | 22,9 |
| Bras                  | 8,8          | 5,2  | 2,5  | 2,3  |
| Vertèbres thoraciques | 7,7          | 10,9 | 15,3 | 16,1 |
| Vertèbres lombaires   | 5,9          | 8,4  | 11,7 | 12,3 |
| Bassin et sacrum      | 16,8         | 22,3 | 28,9 | 27,4 |
| Jambes                | 19,9         | 21,0 | 7,4  | 6,7  |



- Le tableau donne les pourcentages de cellularité par localisation anatomique.
- Le schéma donne les principales localisations de la moelle osseuse (zones grisées)

## 2) Structure des os plats, courts et irréguliers



# C/ Structure microscopique des os : le tissu osseux

## 1) LES TISSUS SQUELETTIQUES

### tissu osseux

- \* matrice rigide
  - collagène I
  - sels de calcium
- \* tissu vascularisé et innervé
- \* renouvellement constant
- ostéoblastes, ostéocytes (ostéoplastes)
- ostéoclastes
- \* tissu complexe

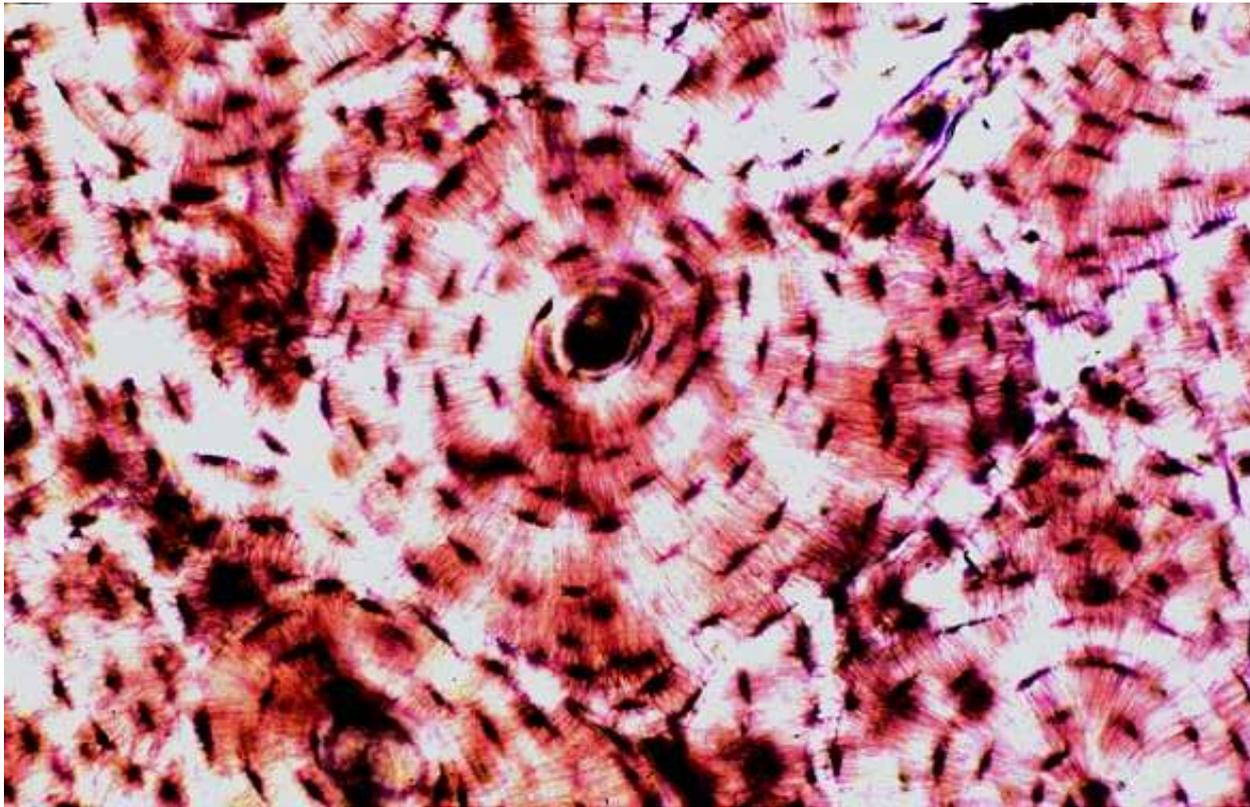
### tissu cartilagineux

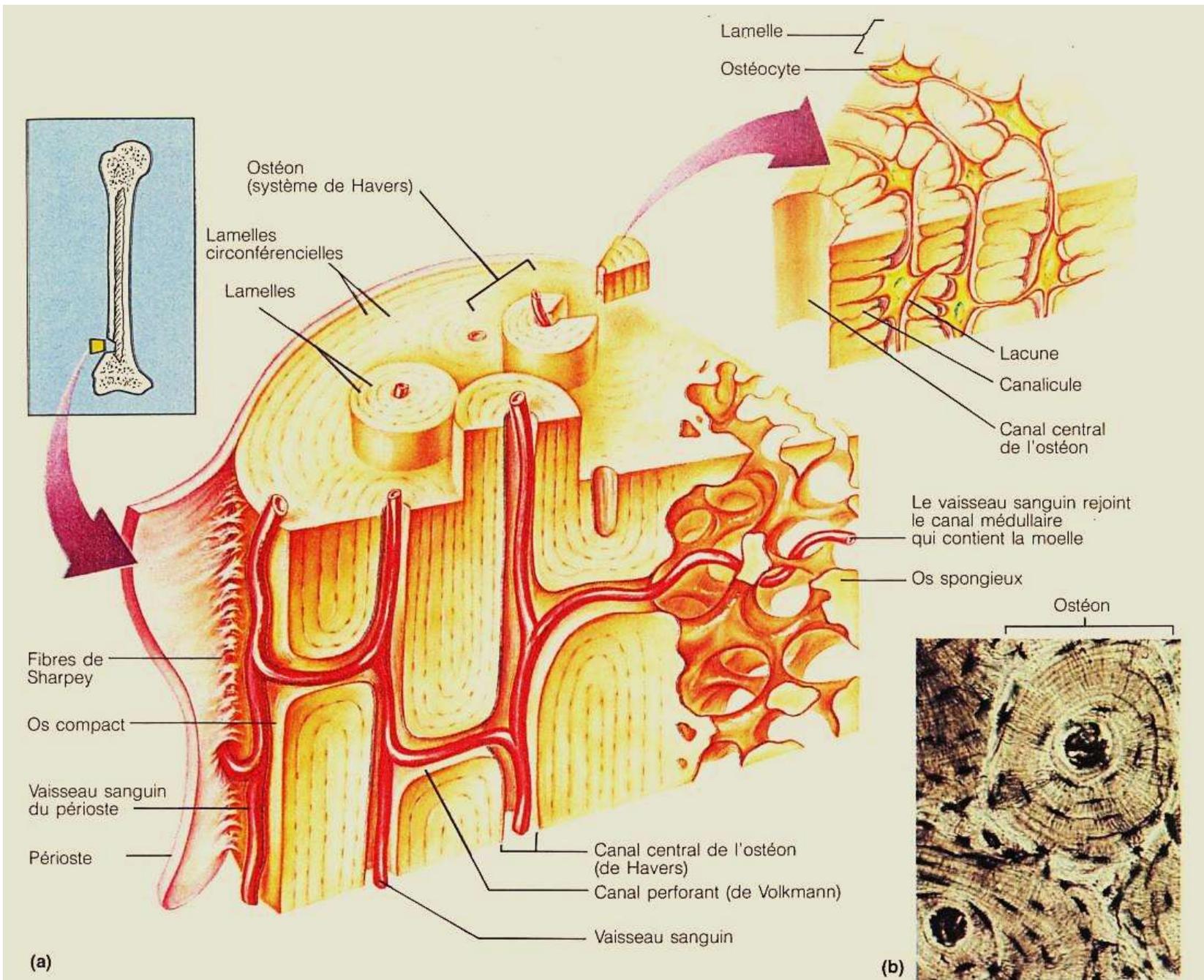
- \* matrice rigide non calcifiée
  - collagène II (IX, ...)
- \* pas de vaisseaux ni de nerfs
- \* faible renouvellement
- Chondrocytes (chondroplastes)
- \* tissu peu complexe

[Lien site histologie](#)

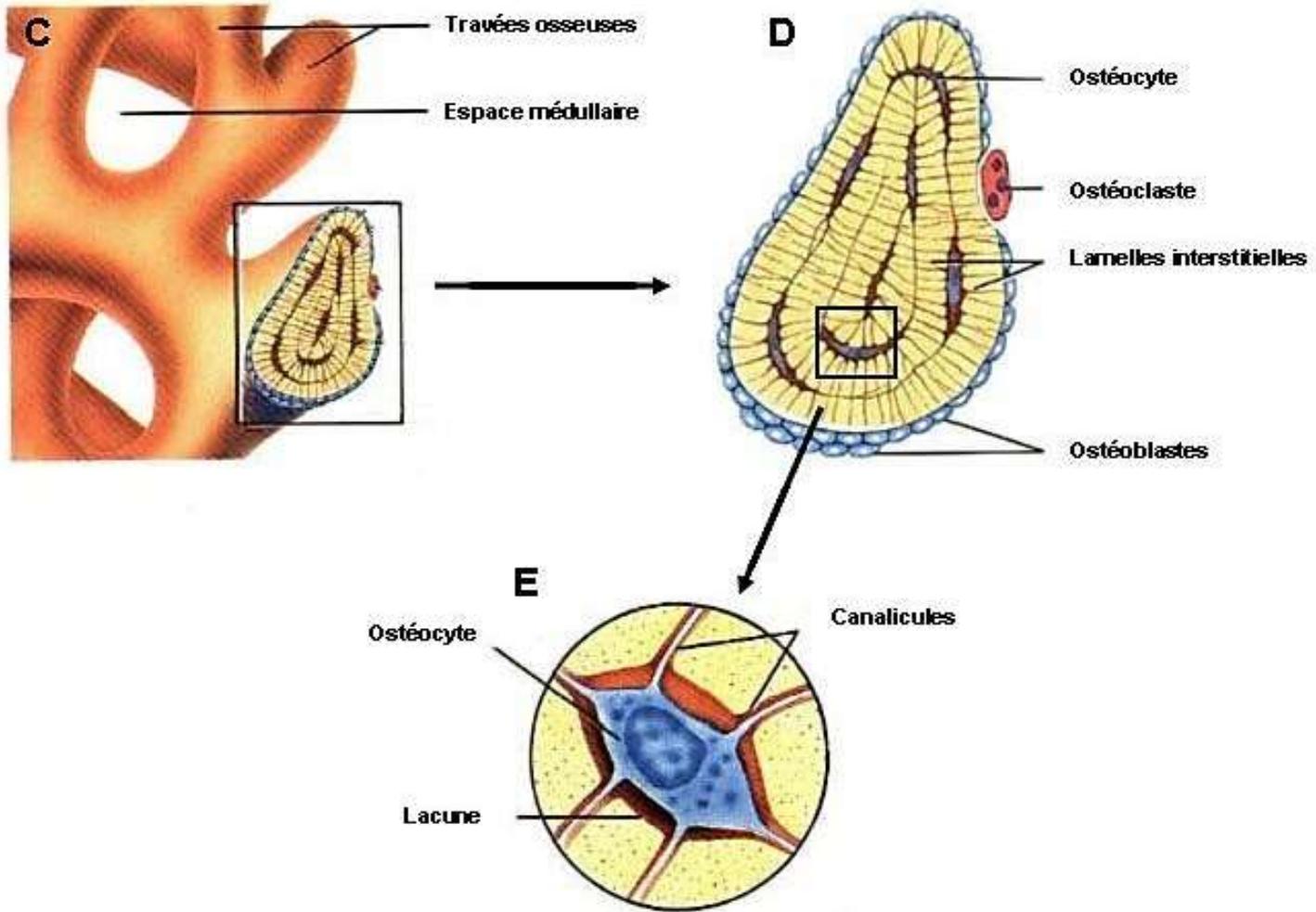
## 2) L'ostéon ou système de Havers

Dans os compact et spongieux

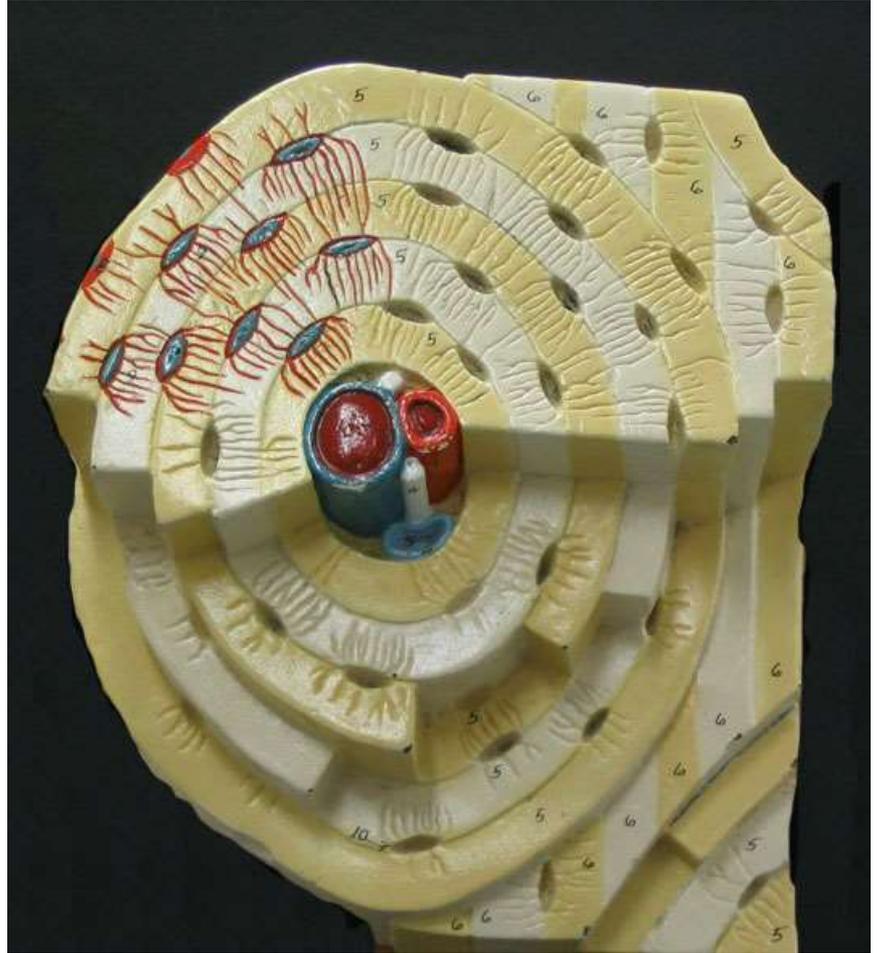
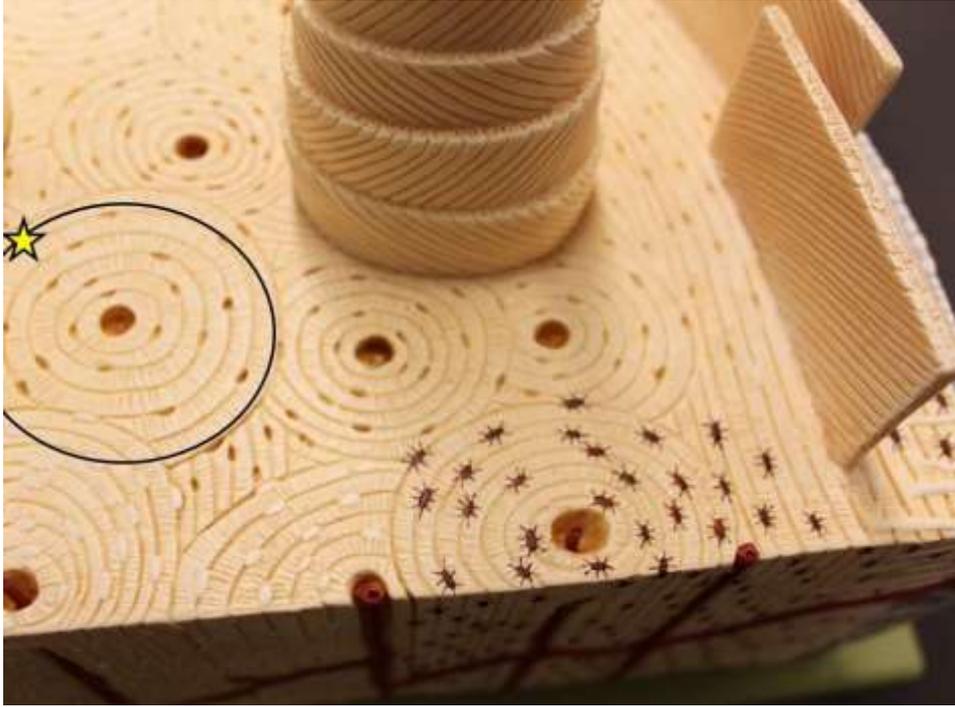


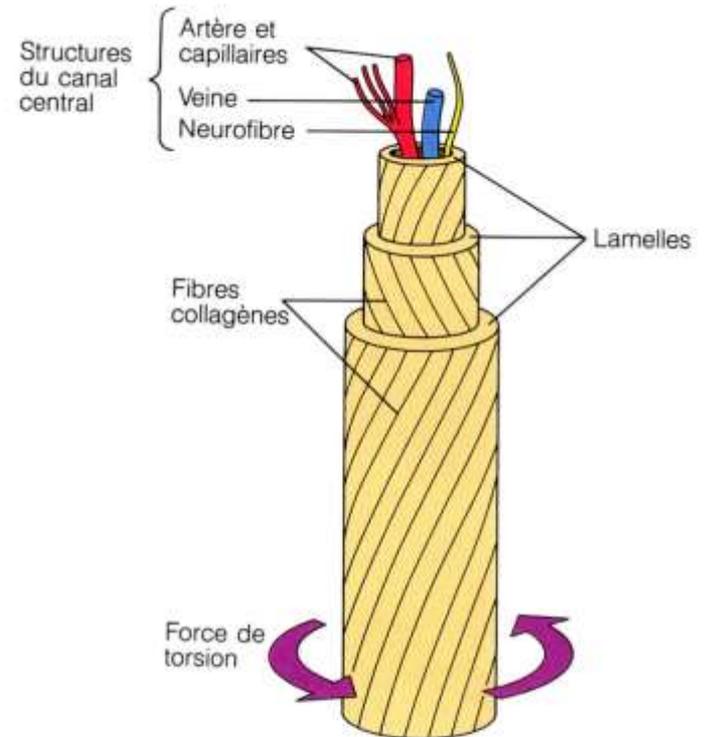
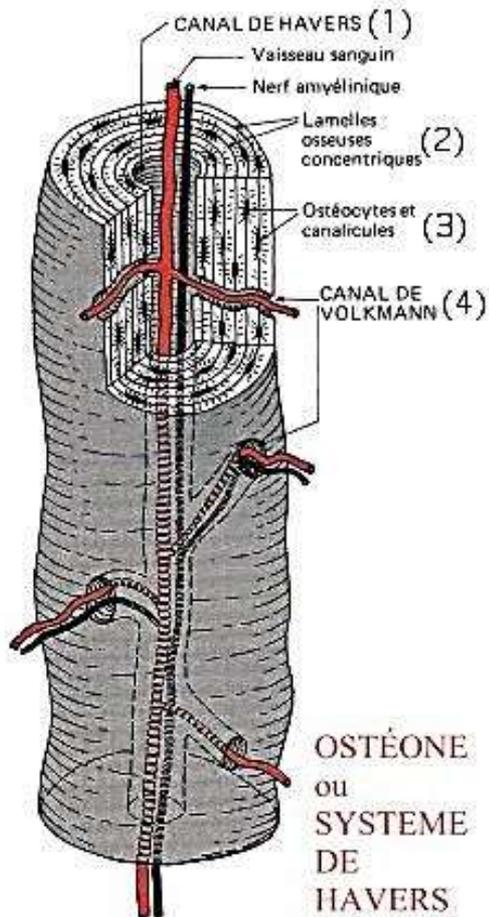


# Structure os spongieux



lamelles  
concentriques      circonférentielles





**Figure 6.5 Diagramme d'un ostéon.** Dans cette illustration, l'ostéon a été dessiné comme s'il avait été étiré de façon télescopique pour en montrer toutes les lamelles. Les lignes obliques figurant sur chaque lamelle représentent l'orientation des fibres collagènes à l'intérieur de la matrice osseuse.

[Animation structure](#)

## **3) La composition de l'os**

Des cellules osseuses dans une matrice

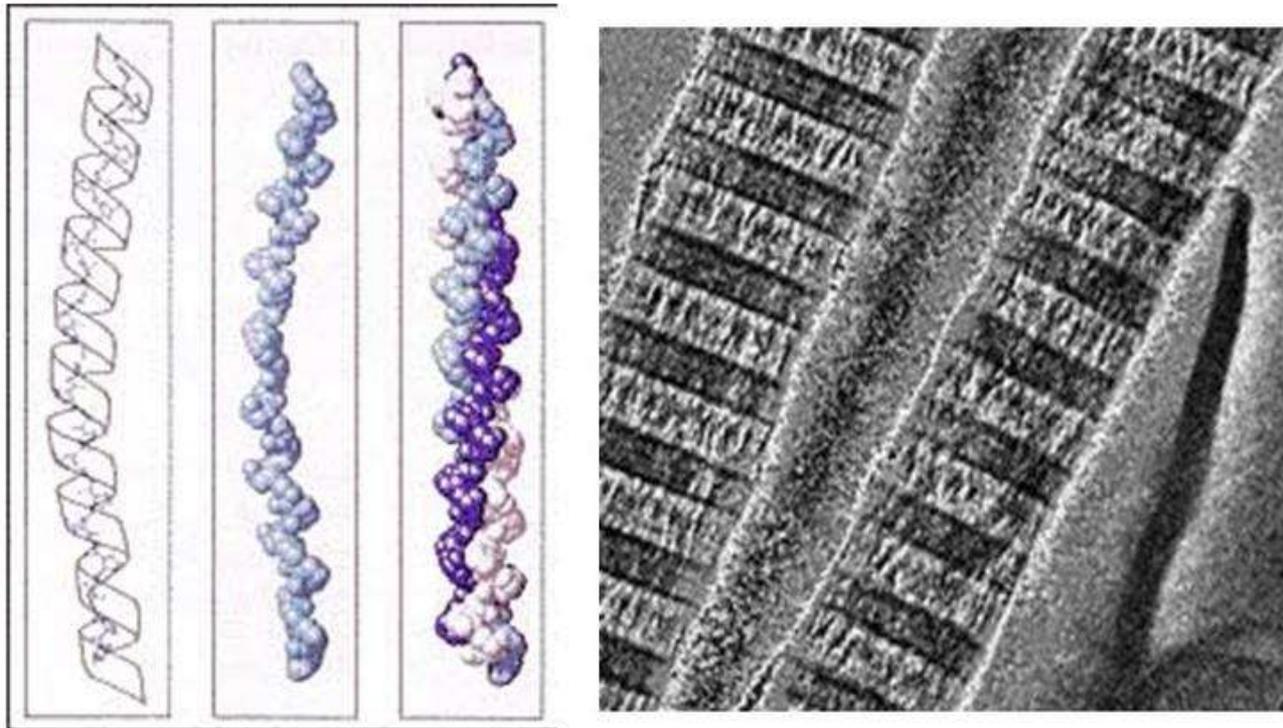
### **3.1. La matrice osseuse**

constituée

- d'une fraction organique composée à de collagène de type I
- et d'une fraction minérale constituée essentiellement de cristaux d'hydroxyapatite de calcium (70% du poids sec de l'os), qui confère à l'os sa dureté et sa résistance,
- C'est l'ostéoblaste qui synthétise la matrice osseuse et régule sa minéralisation.

## Matériau organique ou ostéoïde pour structure et forme :

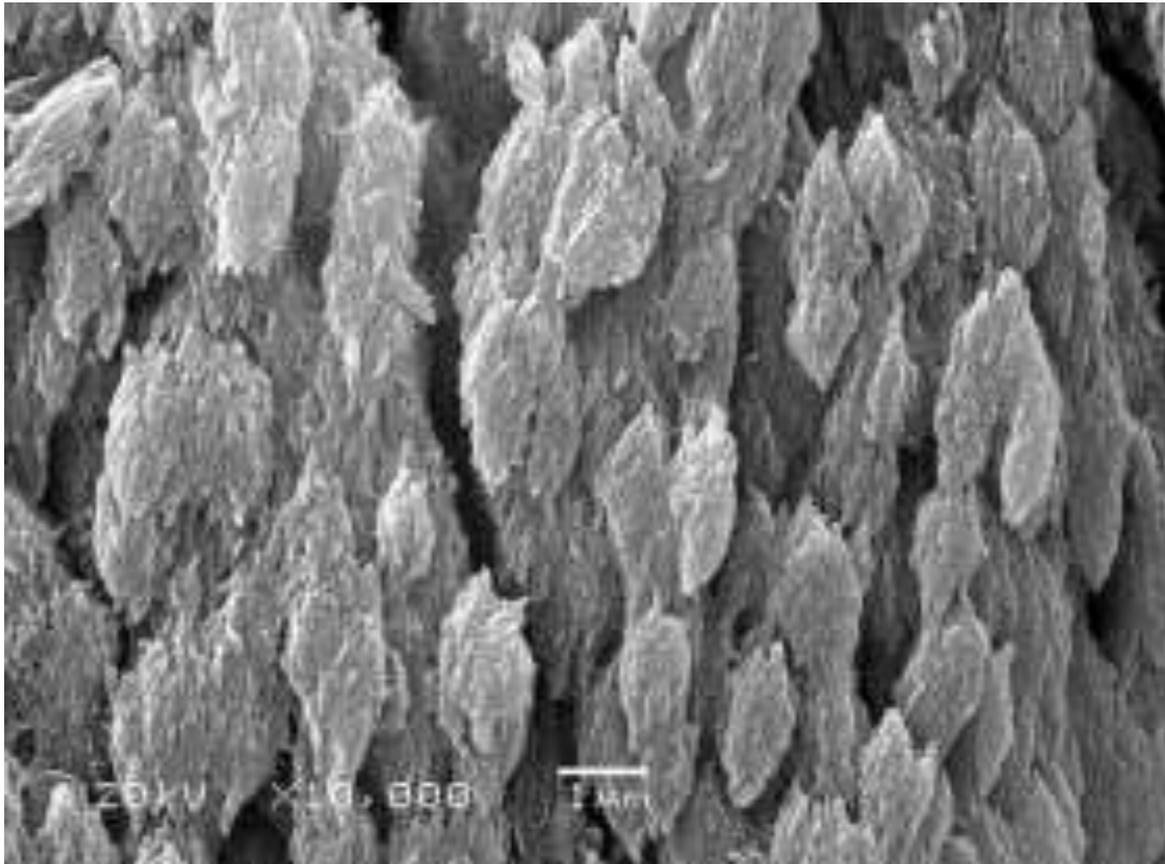
- Collagène type I produit par les ostéoblastes,
- Autres (glycoprotéines...)



collagène I

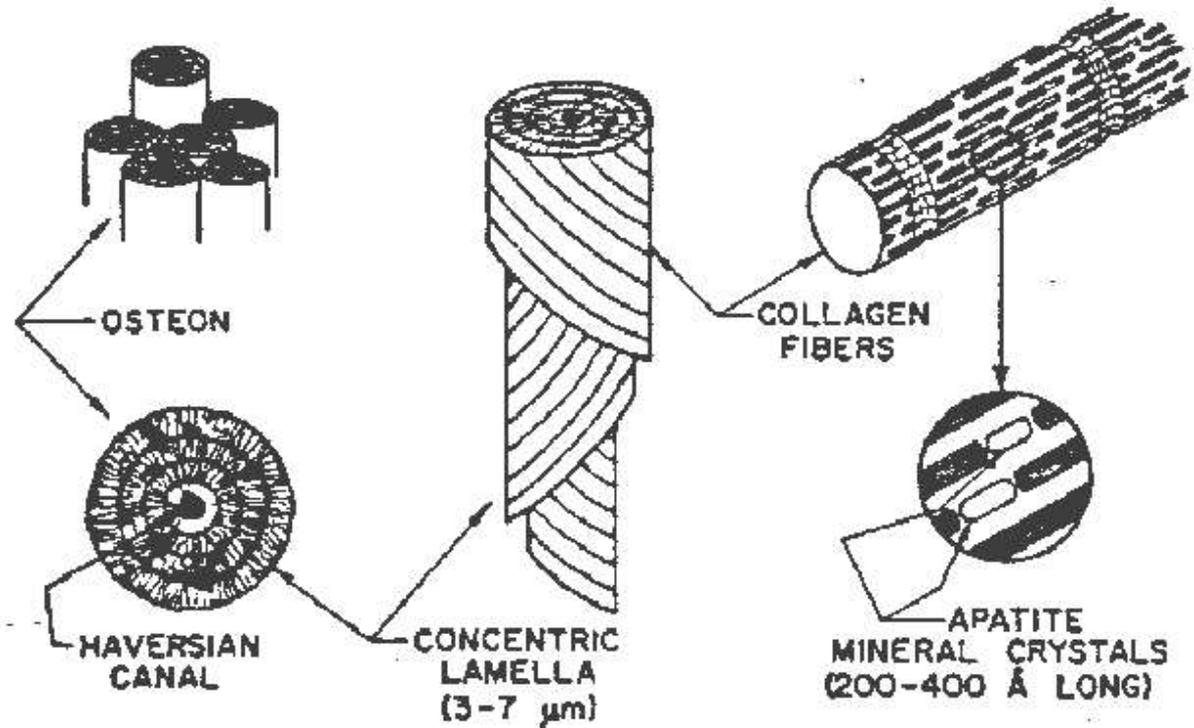
## Partie minérale

pour dureté et résistance : phosphate et calcium sous forme d'hydroxyapatite  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$



# Hydroxyapatite fixée sur le collagène

## Osteon (Haversian System) Structure



4/14/00

BME 411/511

8

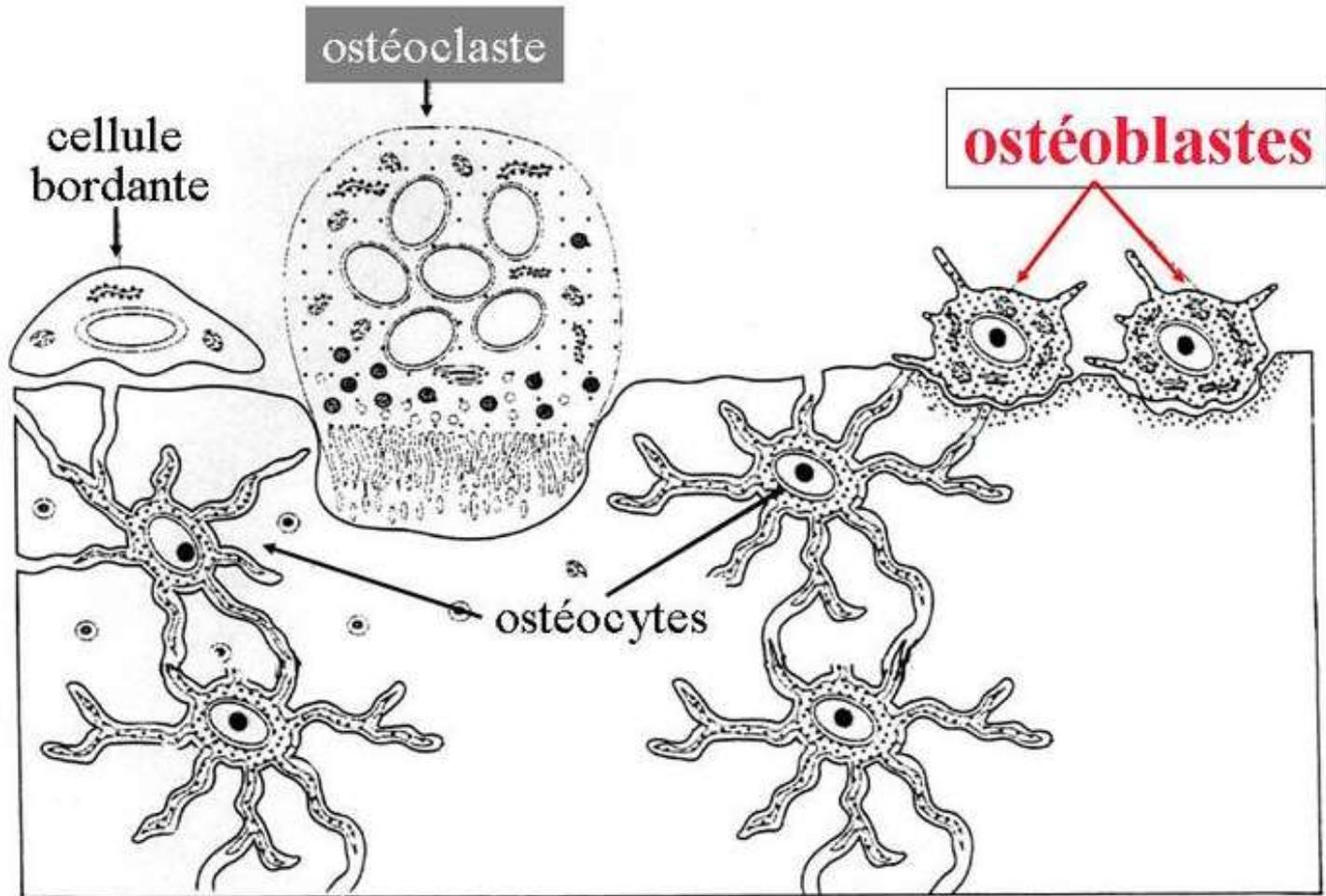
Les fibres sont parallèles les unes aux autres et sont organisées en fonction des forces de pressions exercées

La **résistance** de l'os provient de ses composants inorganiques (sels de calcium et phosphore), tandis que son **élasticité** et sa **flexibilité** sont dus à la matière organique (substance ostéoïde).

La **flexibilité** est la propriété de l'os de modifier sa forme, dans des limites peu précises, quand il est soumis à l'action de forces extérieures déformantes.

**L'élasticité** est la propriété de l'os de reprendre sa forme et son volume primitifs lorsque cesse l'action des forces extérieures auxquelles il se trouve soumis.

### 3.2. Cellules, dans endoste et périoste (sauf ostéocytes)



➤ Ostéoblastes :

- seules cellules de l'organisme capables de synthétiser de la matrice osseuse calcifiée
- différenciation en ostéocytes, lorsque la cellule est totalement entourée de matrice calcifiée

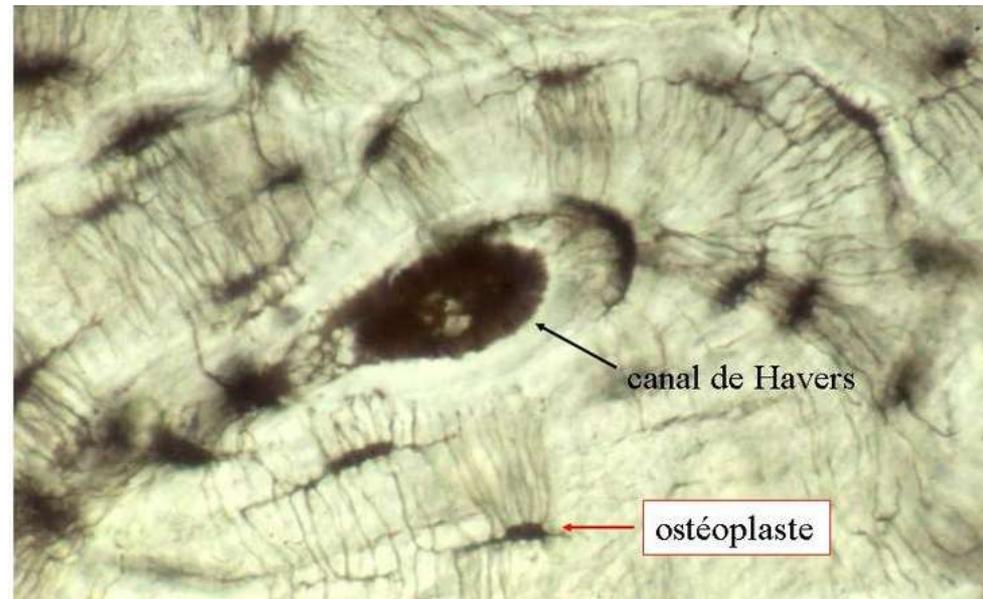


\* cellules cubiques

\* riches en organites cellulaires

➤ Ostéocytes :

- siègent dans des logettes, les **ostéoplastes** ou **lacunes**



Lacune LC ou ostéoplaste d'où partent des **canalicules anastomosés** contenant les prolongements cytoplasmiques des ostéocytes O.

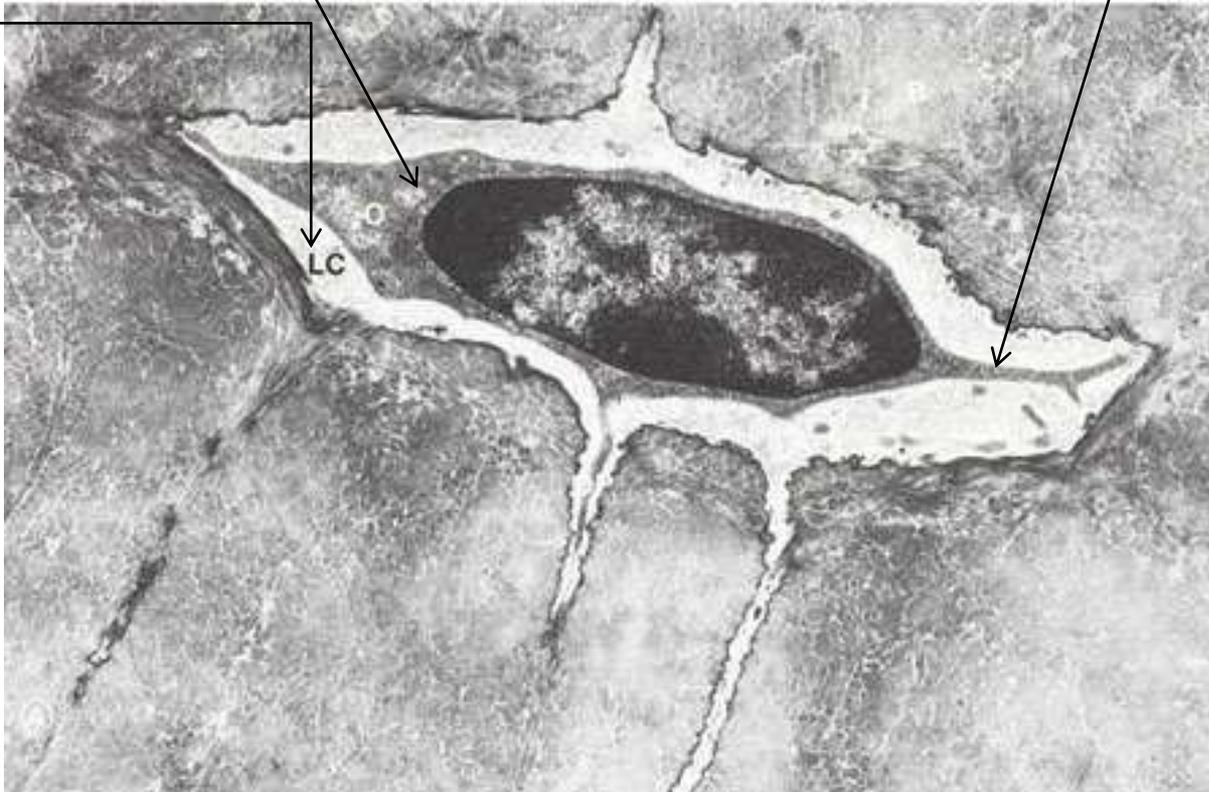
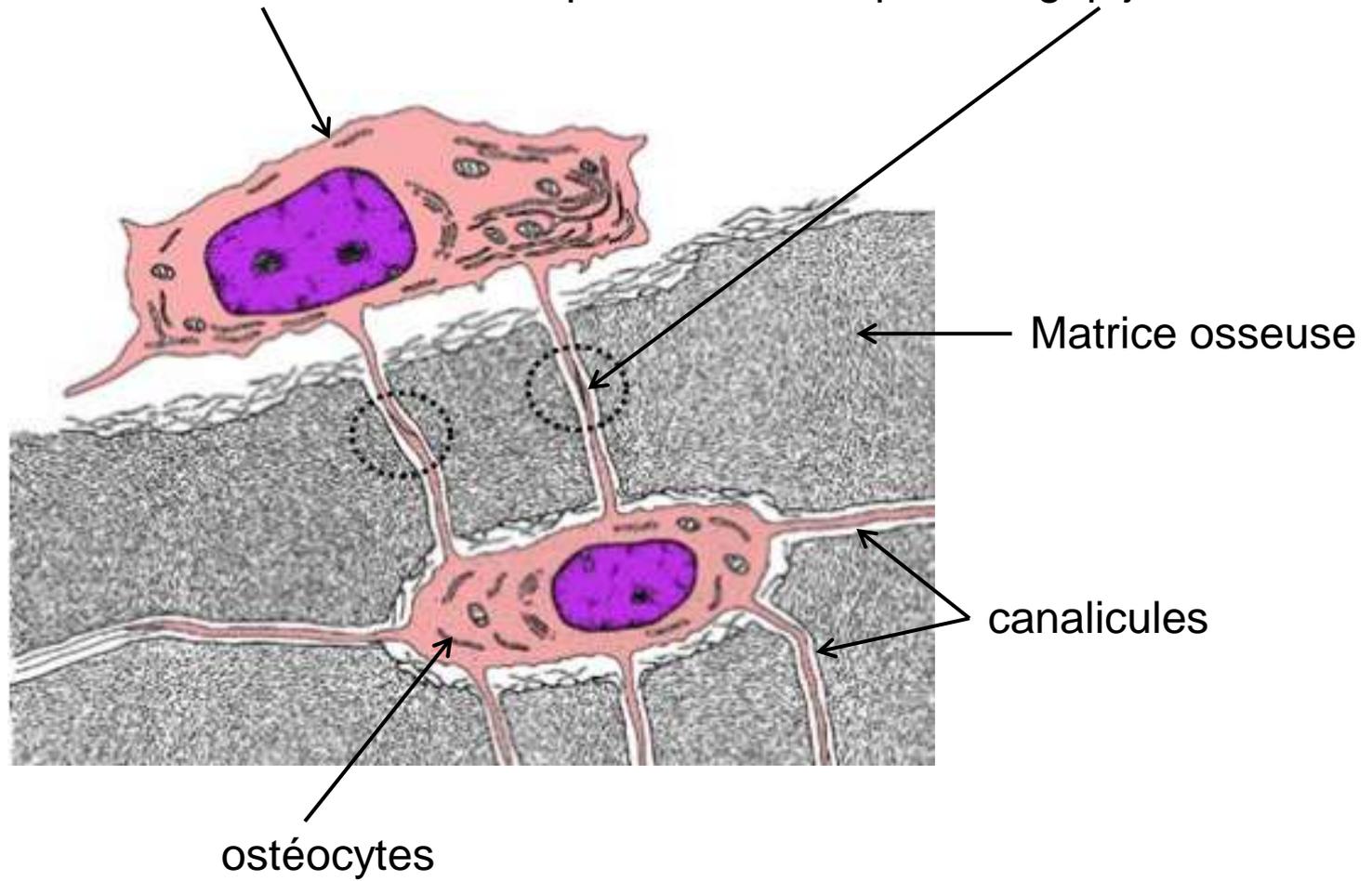


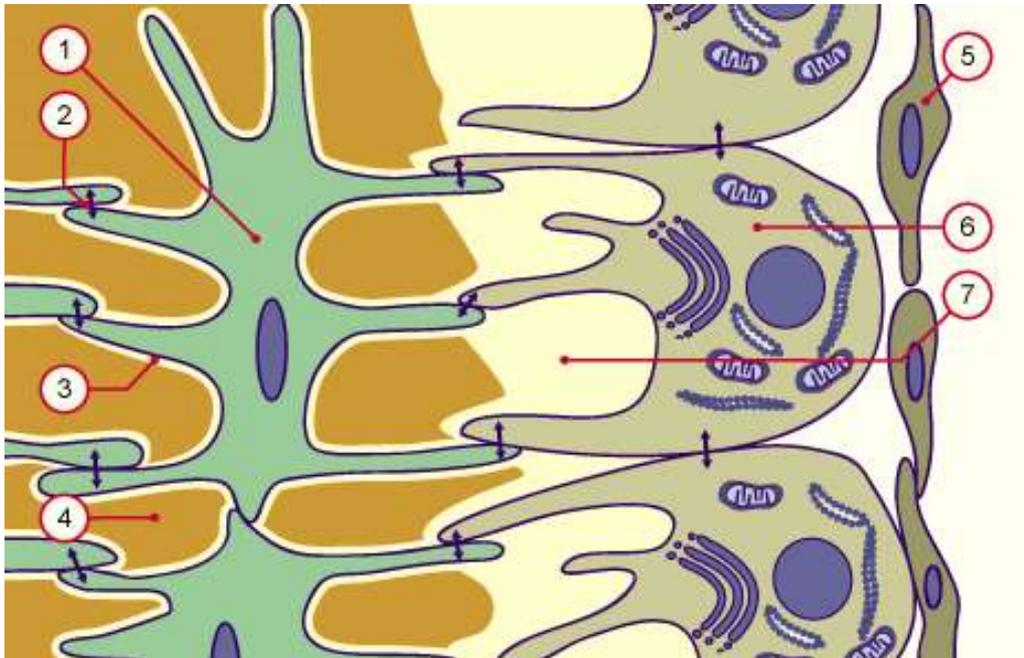
Photo d'un ostéocyte observé au microscope électronique à transmission

Les ostéocytes et ostéoblastes communiquent entre eux par des gap junctions



# Activité des ostéoblastes :

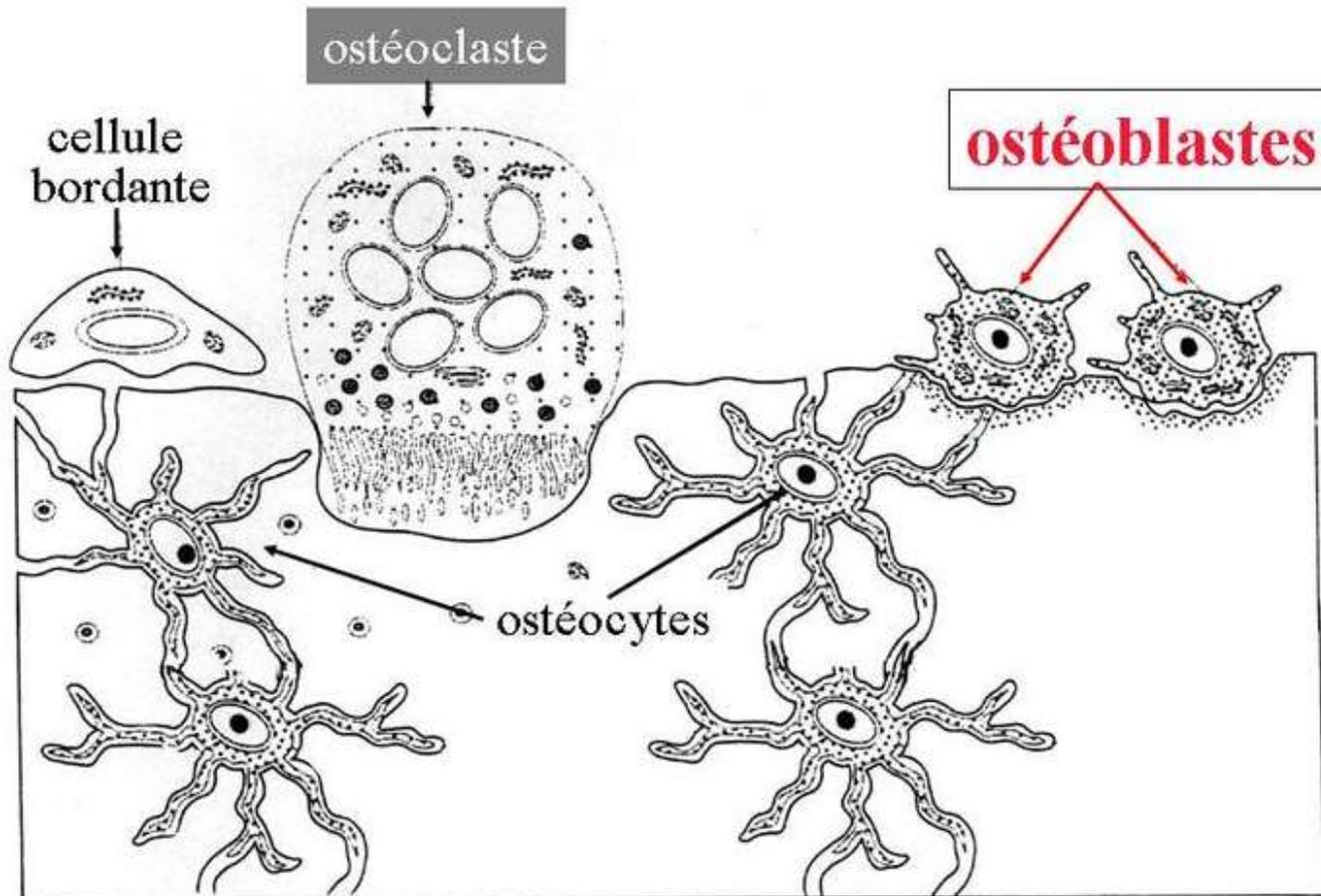
- Les ostéoblastes sécrètent du collagène.
- Ils concentrent le calcium et le phosphate. Le phosphate inorganique se lie au calcium et donne de l'hydroxyapatite.
- Les ostéoblastes « s'emmurent vivants » dans des couches concentriques de tissu osseux et conservent des liens avec les autres cellules via des prolongements cytoplasmiques.
- Une fois totalement emmurés, on les appelle ostéocytes.
- Les ostéocytes poursuivent une activité de synthèse mais beaucoup plus modérée.



- 1 Ostéocyte
- 2 Gap junctions entre les ostéocytes
- 3 Bordure d'ostéoïde (non minéralisée)
- 4 Os minéralisé
- 5 Cellules ostéo-progénitrices
- 6 Ostéoblaste
- 7 Ostéoïde

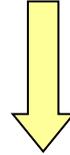
## ➤ Cellules bordantes ou ostéo-progénitrices :

- Les cellules bordantes sont des ostéoblastes devenus progressivement aplatis pour former une couche cellulaire attachée et alignée le long de surfaces osseuses dites inactives.



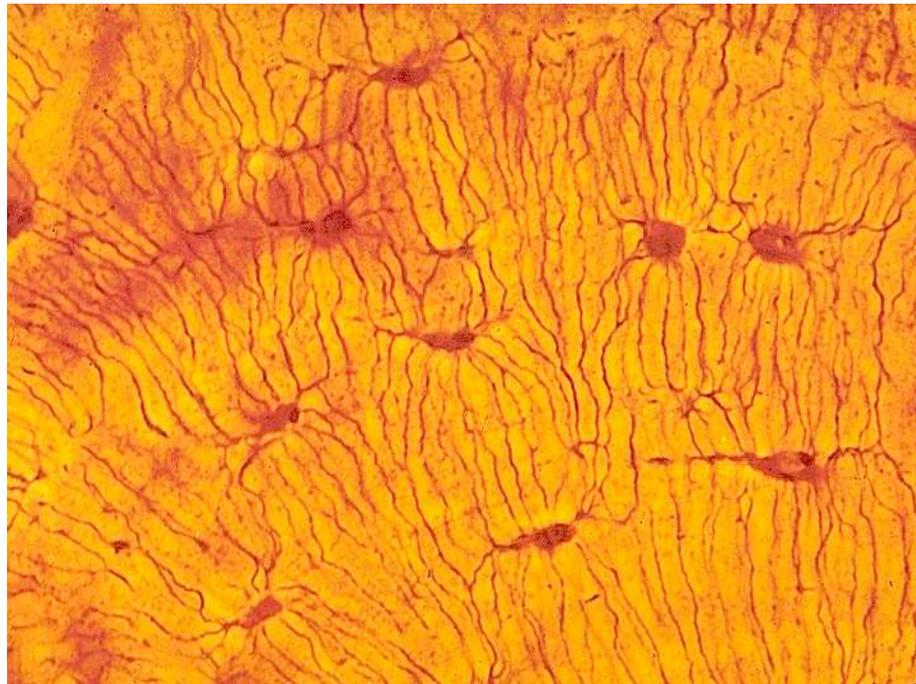
Devenir des ostéoblastes:

cellules bordantes  
de nouveau



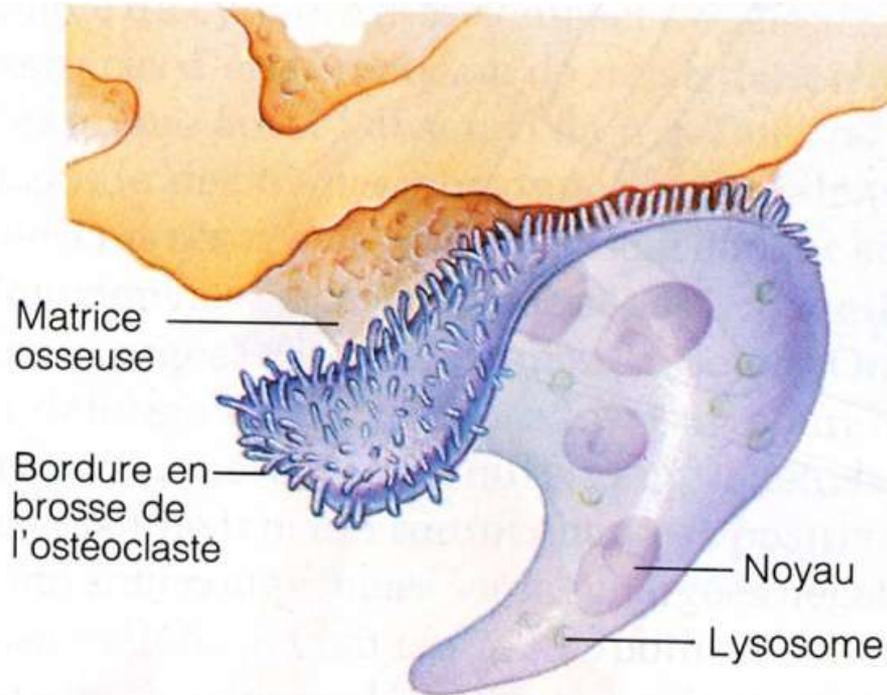
Mort par apoptose

s'enfoncent progressivement dans la MEC  
minéralisée pour donner des ostéocytes

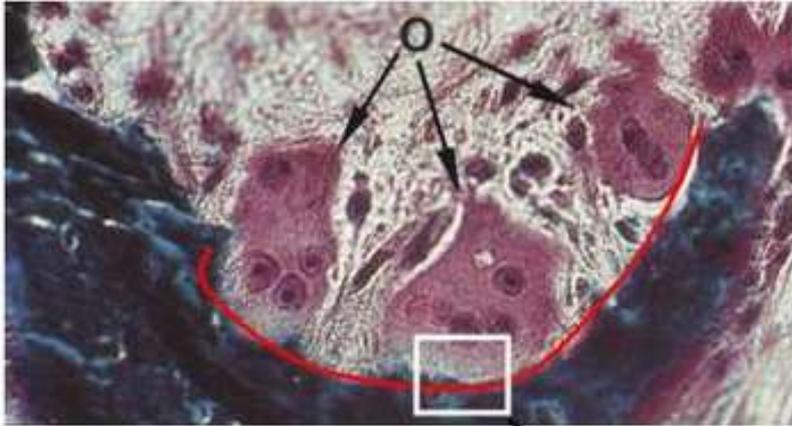


## ➤ Ostéoclastes : origine hématopoïétique

- ce sont les **macrophages** spécialisés du tissu osseux
- Il s'agit de cellules géantes (20 à 100 microns de diamètre), **plurinucléées** et hautement mobiles.
- réalisent la **résorption** de l'os au sein de sites de résorption appelés lacune de Howship



**Figure 6.11** Les ostéoclastes sont de grosses cellules multi-nucléées qui dégradent la matière osseuse; on remarque une bordure en brosse sur la surface de résorption.

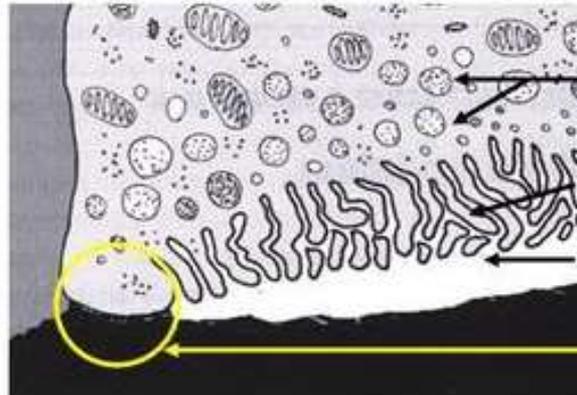


lacune de Howship

contact étroit avec la matrice osseuse qu'il résorbe.

Zone de contact délimitée par un anneau de podosomes qui établissent des jonctions cellule-matrice.

Ces podosomes permettent un attachement ferme à la matrice et la délimitation d'une chambre de digestion « étanche » (chambre de résorption)



lysosomes

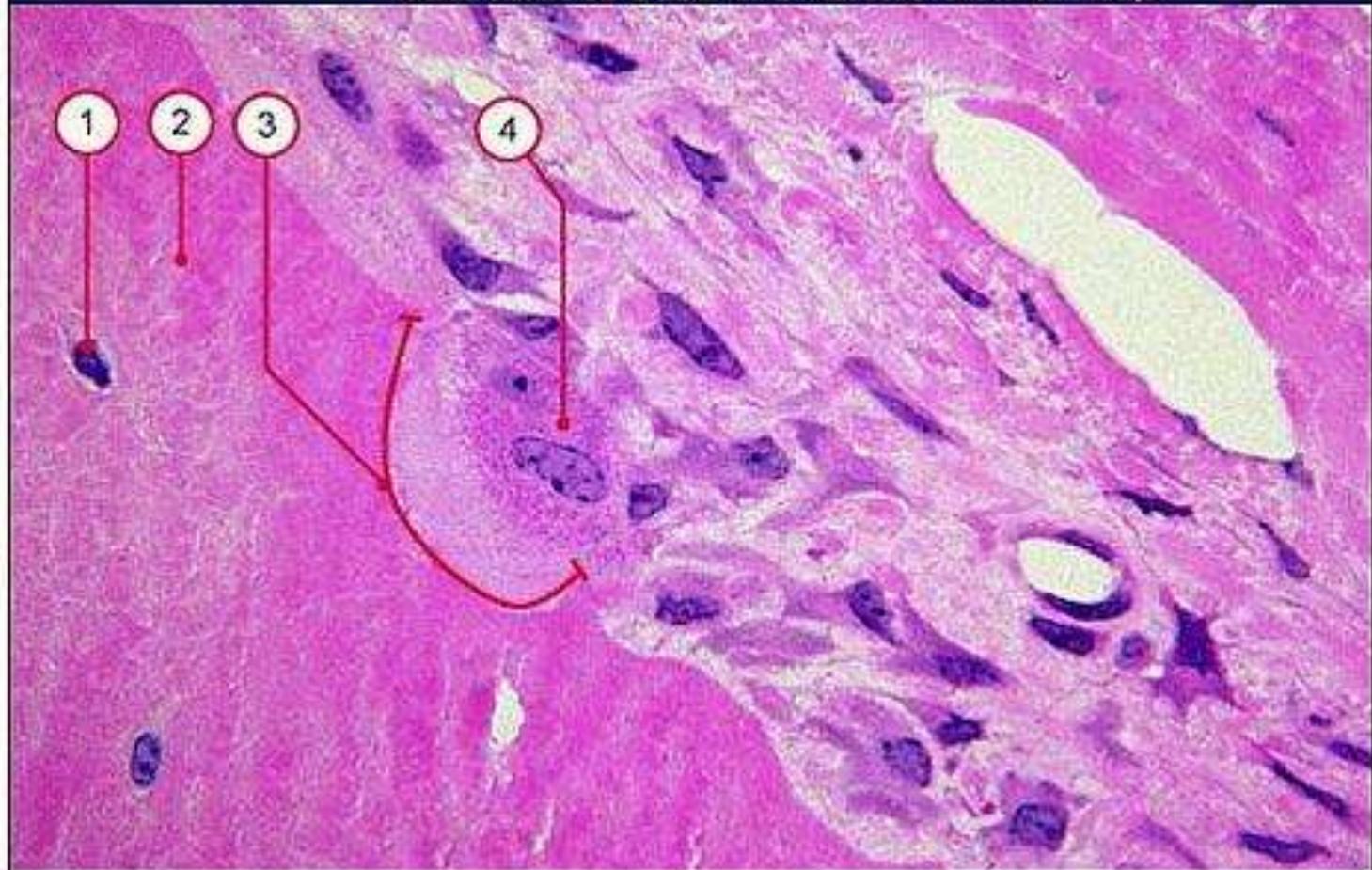
bordure en brosse

chambre de digestion

podosome

Chambre de digestion

## Ostéoclaste avec une lacune de Howship



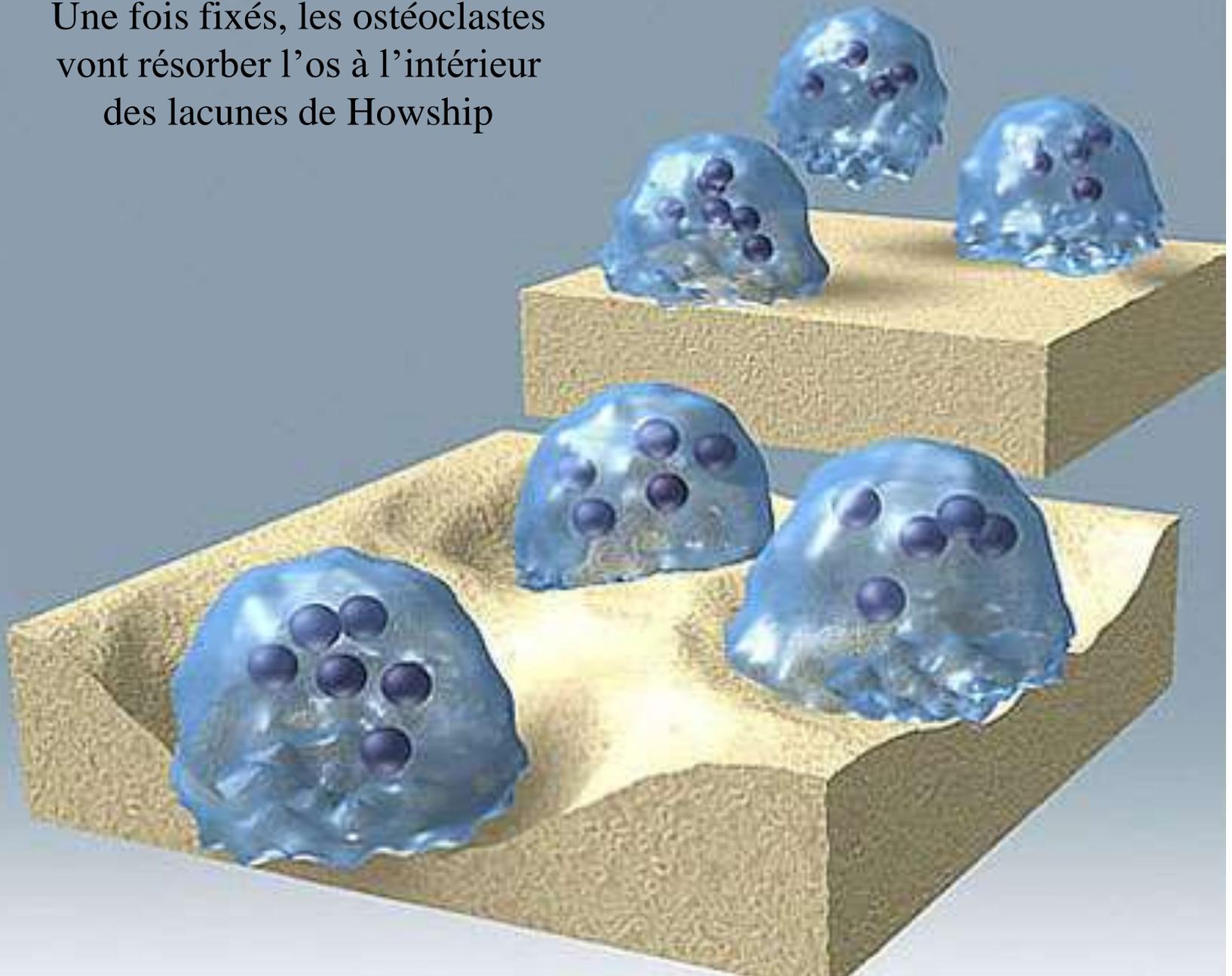
1. Ostéocyte

2. matrice osseuse

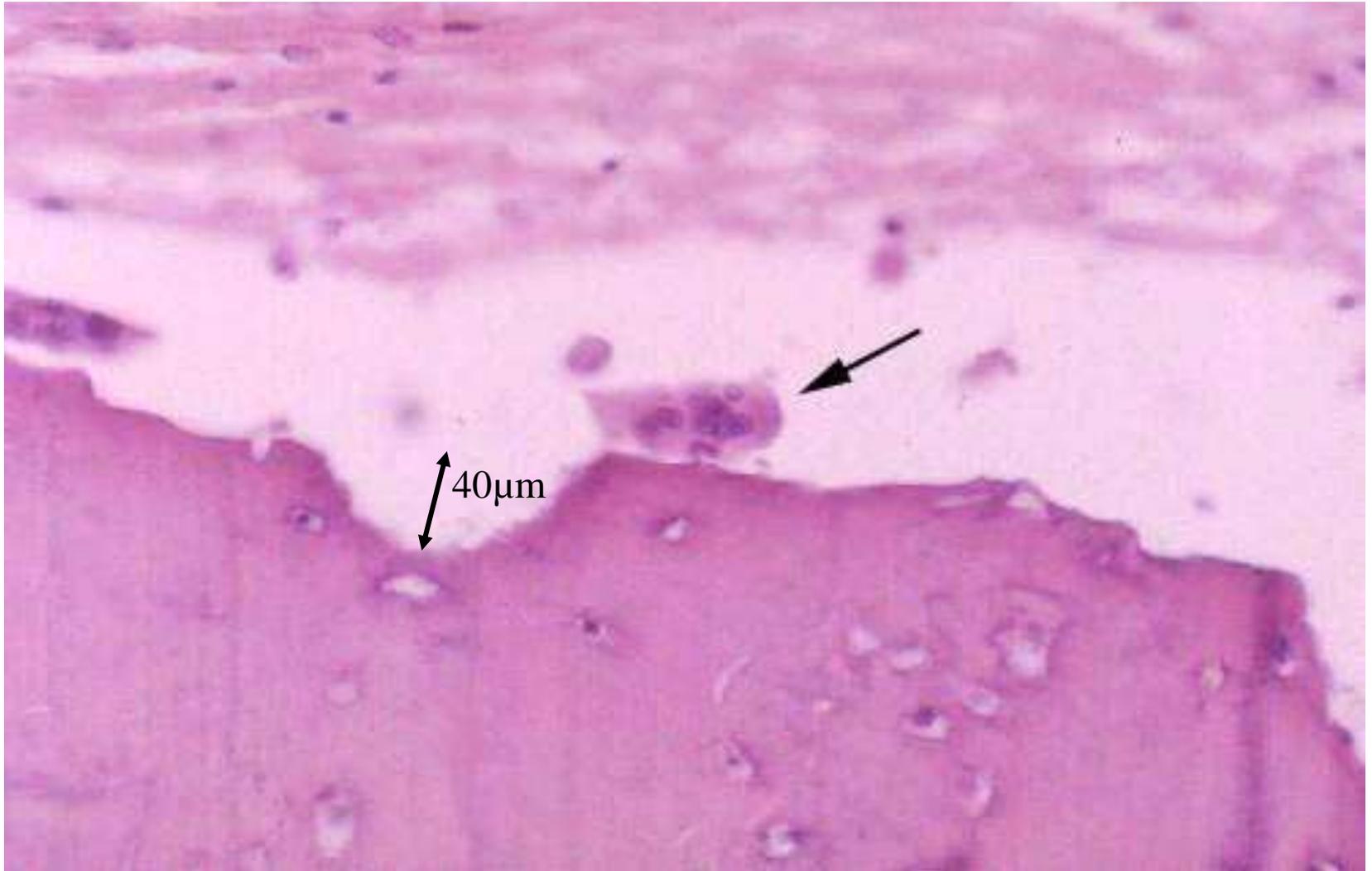
3. lacune de Howship

4. Ostéoclast à plusieurs noyaux

Une fois fixés, les ostéoclastes vont résorber l'os à l'intérieur des lacunes de Howship



Après avoir creusé une lacune de 40 $\mu$ m de profondeur,  
les ostéoclastes se déplacent pour une nouvelle phase  
d'adhésion-résorption-migration  
ou meurent par apoptose

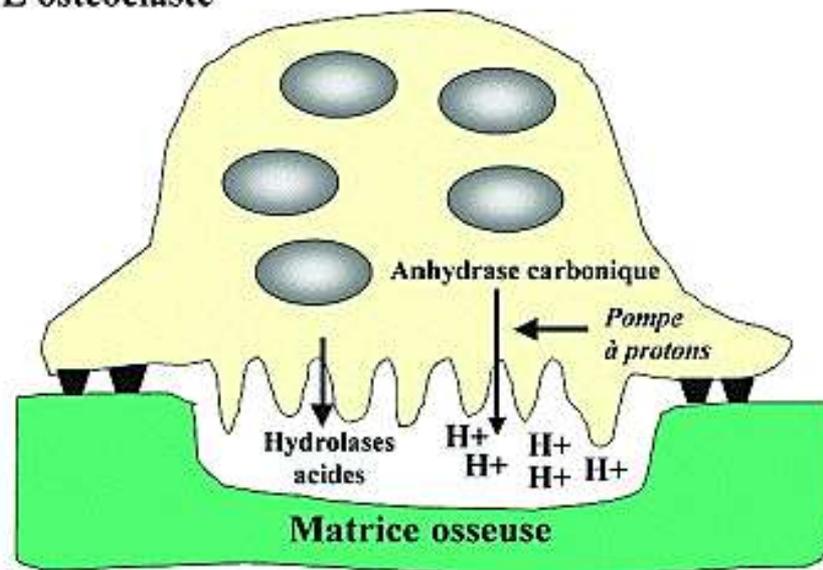




## Activité des ostéoclastes:

- Acidification de la lacune par des **pompes à protons** spécifiques de l'ostéoclaste qui expulsent les **ions  $H^+$** .
  - Ceci favorise la dissolution du cristal d'hydroxyapatite libérant des minéraux (calcium et phosphore) et permettant la mise à nu de la matrice organique et l'activation des enzymes protéolytiques (collagénase)
- L'ostéoclaste déverse, par exocytose des lysosomes, des **enzymes protéolytiques**.
  - Cela conduit à la destruction de la matrice organique libérant des produits de dégradation du collagène qui passeront dans la circulation sanguine et dont le dosage dans les urines est un marqueur d'activité ostéoclastique..

L'ostéoclaste



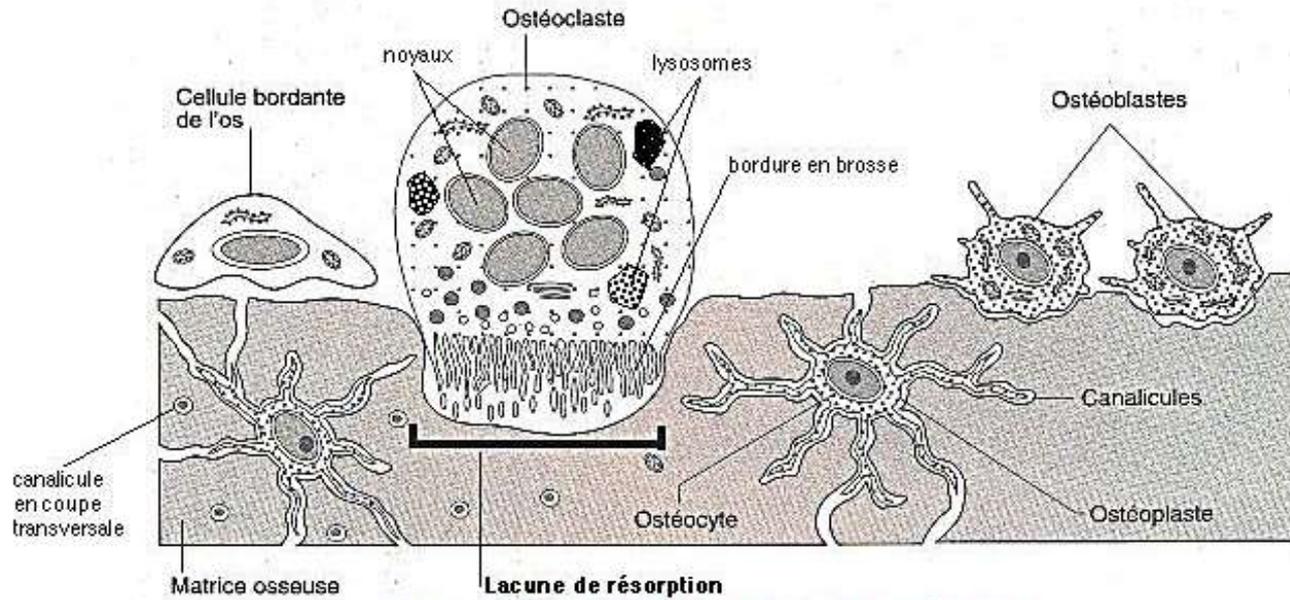
# Résumé composition os

## Tissu conjonctif

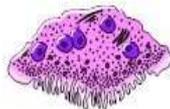
- avec cellules (ostéoblastes construisent et ostéoclastes détruisent)
- Et matrice extra-cellulaire composée de :

|   |   |
|---|---|
| Eau (20%)   |   |
| Matériel organique (25%)<br>ou ostéoïde = osséine | <ul style="list-style-type: none"><li>•Fibres de collagène type I (90%)</li><li>•autres:<ul style="list-style-type: none"><li>• glycanes</li><li>• glycoprotéines</li></ul></li></ul> |
| Matériel inorganique (55%)                        | <ul style="list-style-type: none"><li>•Hydroxyapatite</li><li>•Carbonate</li><li>•Fluorure</li><li>•Mg, Na, Pb, S</li></ul>   |

Rq : L'osséine, bouillie dans l'eau, donne de la **gélatine**



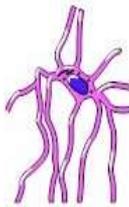
## LES CELLULES DU TISSU OSSEUX



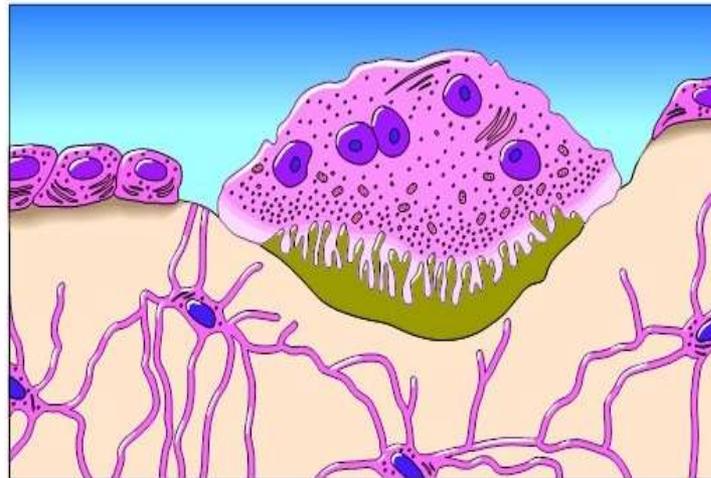
Osteoclast



Osteogenic cell



Osteoblast



# III/ Ossification : Croissance et remaniement

L'ossification se déroule en plusieurs étapes :

- **ossification primaire**, à partir d'un tissu conjonctif (**ossification membranaire** pour les os plats) ou à partir d'une ébauche cartilagineuse (**ossification endochondrale**)
- **ossification secondaire**, à partir d'un tissu osseux déjà constitué (os primaire)
- **ossification tertiaire**, correspondant chez l'adulte au **remodelage osseux** permanent.

L'ensemble de ces mécanismes est sous la dépendance de nombreux facteurs de régulation, en particulier hormonaux

# 1) Ossification primaire

## ➤ **Ossification endochondrale ou cartilagineuse :**

- chaque os est précédé d'une **ébauche cartilagineuse**.
- Cette ébauche est ensuite envahie par des vaisseaux sanguins.
- Il y a destruction des cellules cartilagineuses par des cellules conjonctives qui vont devenir ostéoblastes et produire de la substance osseuse formant l'os primaire.
- Cette ossification débute pendant la vie intra utérine.
- Il existe pour les os long un point d'ossification diaphysaire et un ou plusieurs points d'ossification épiphysaires.

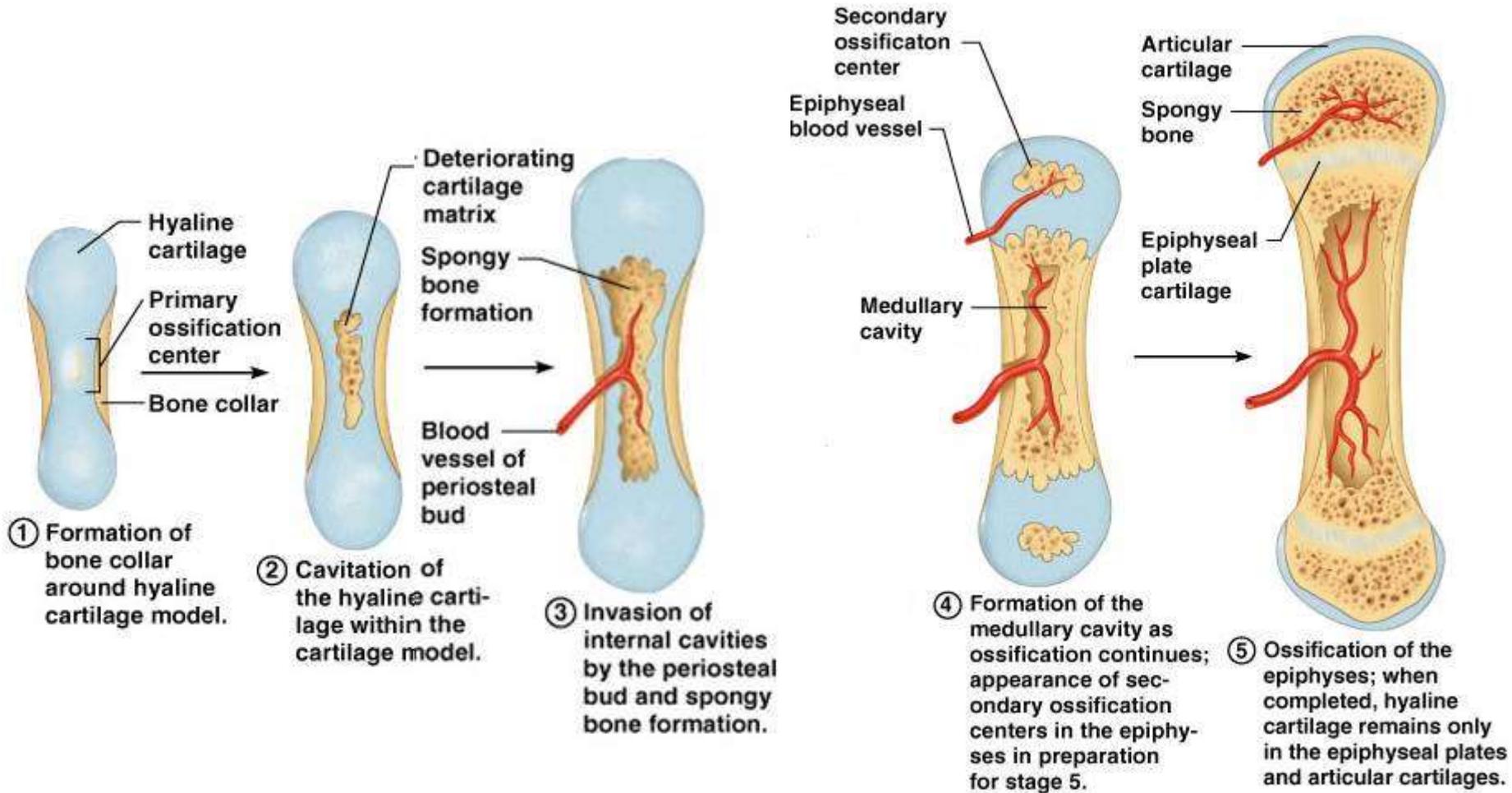
**L'ossification endochondrale se développe à partir d'un centre d'ossification** apparu dans le cartilage hyalin à la suite d'une pénétration vasculaire.

**À partir du centre d'ossification**, l'ossification endochondrale va se développer et progresser de façon plus ordonnée. Il existe alors une ligne d'ossification très nette à la limite entre le tissu cartilagineux et le tissu osseux néoformé.

Cette organisation réalise en particulier le modèle de **l'ossification endochondrale au niveau des métaphyses des os longs**, modèle classique de description.

[Animation](#) ossification enchondrale

# Ossification enchondrale



➤ **Ossification fibreuse** ou **ossification membranaire** :

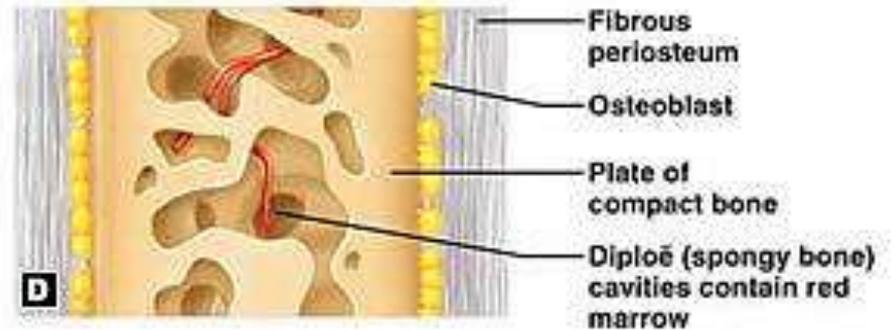
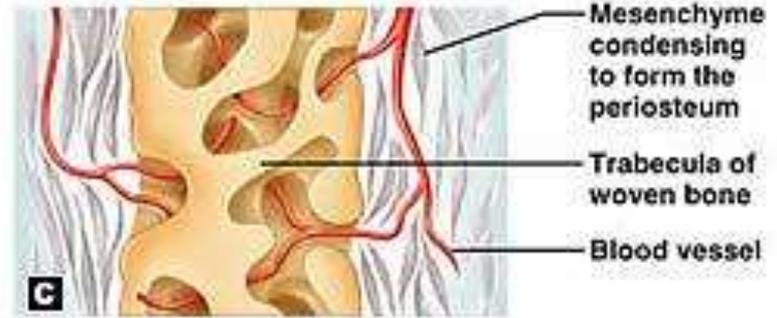
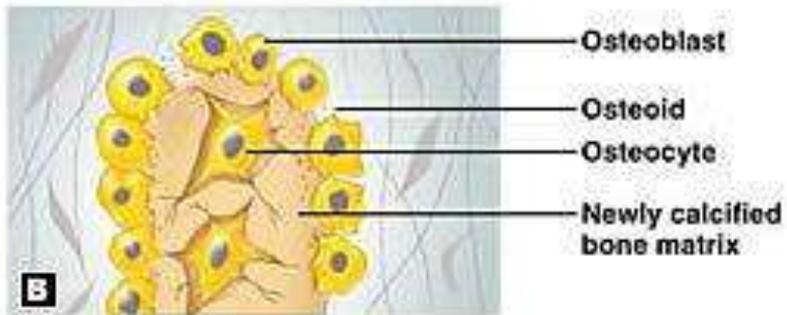
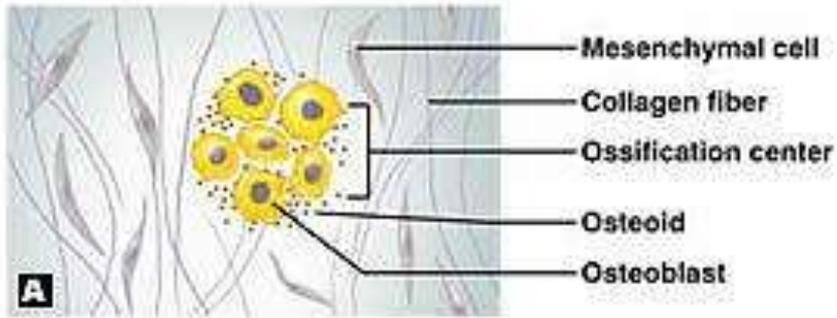
- les cellules du tissu conjonctif (mésenchymateuses) de l'embryon forment une ébauche conjonctive de l'os futur puis elles se transforment directement en cellules osseuses ou ostéoblastes qui vont élaborer l'os définitif.

Concerne les os plats

**L'ossification de membrane** s'effectue à partir d'une lame de tissu conjonctif. Les cellules conjonctives se déterminent en ostéoblastes, qui élaborent une substance préosseuse calcaire, rapidement minéralisée. Les ostéocytes s'entourent ainsi de matrice osseuse au sein de travées plus ou moins anastomosées. Le remodelage de ces travées par résorption ostéoclasique puis sa reconstruction aboutissent ultérieurement à la constitution d'un os spongieux.

Un exemple particulier est représenté par **l'ossification périostique**, où la construction de lamelles concentriques en périphérie des pièces osseuses se fait de façon progressive, par vagues.

## Ossification membraneuse



## 2) Ossification secondaire

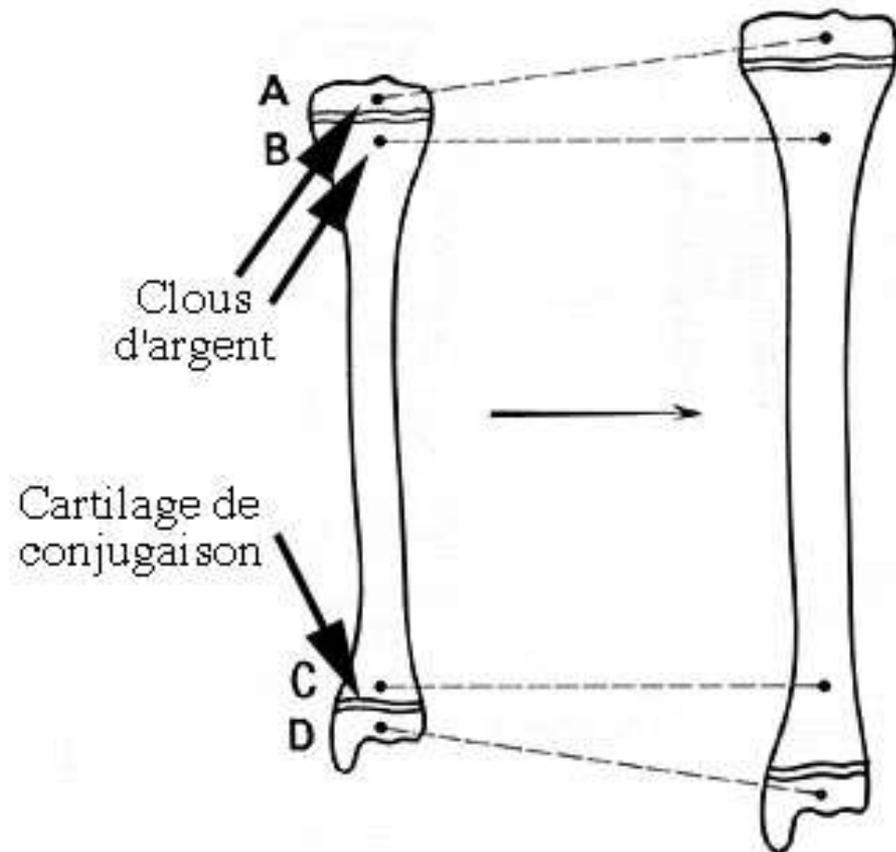
En raison de l'organisation spatiale de la matrice extracellulaire de l'os (MEC), on distingue l' **os fibrillaire** (ou **réticulaire, immature**) de l'**os lamellaire**.

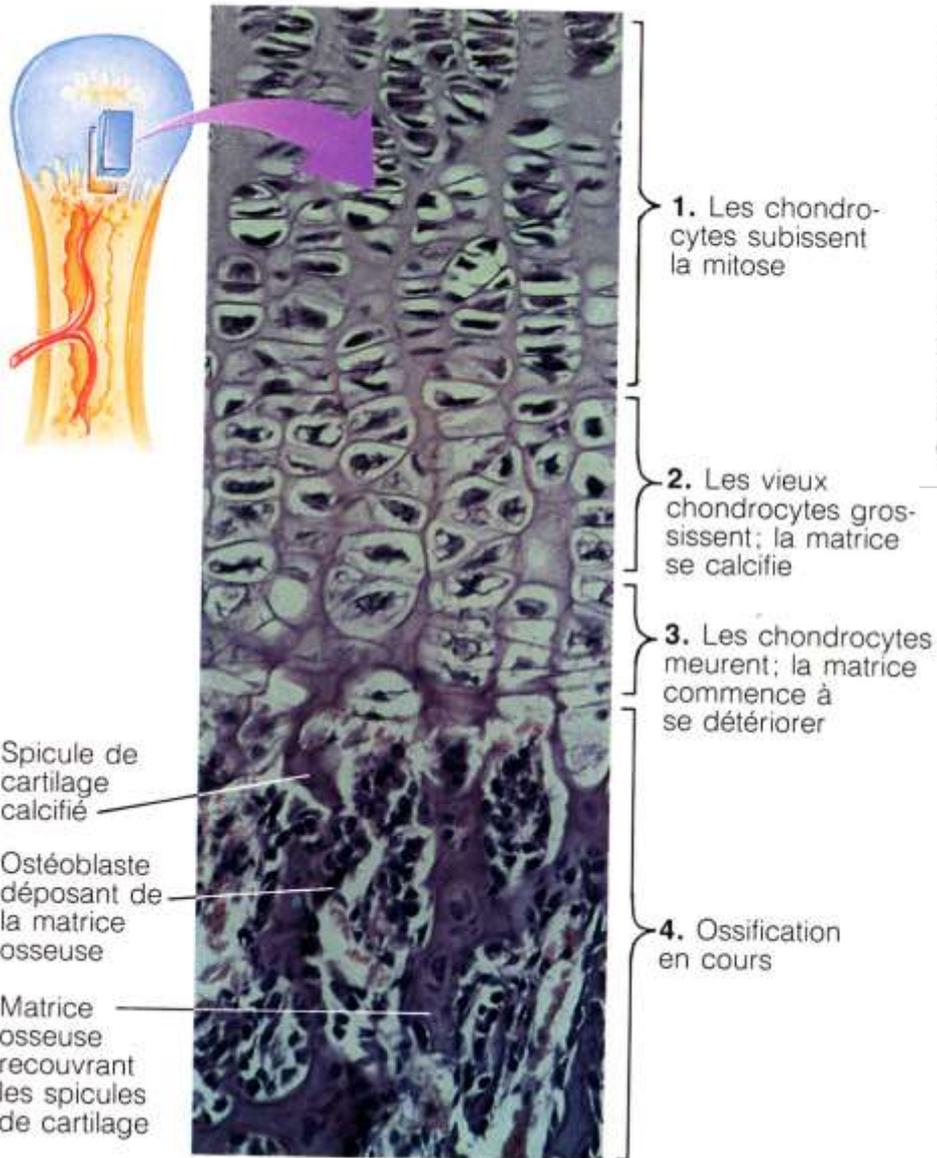
- dans l'os fibrillaire, les faisceaux de collagène sont disposés dans tous les sens (mécaniquement faible)
- la structure de l'os lamellaire est régulière = ostéon

Partout où du tissu osseux doit être construit très rapidement se forme alors de l'os fibrillaire (ou primaire ou immature, lors du développement ou de guérison de fracture), tandis que l'os lamellaire (ou mature) est secondaire et nécessite plus de temps pour se former.

### 3) Croissance en longueur d'un os long

- se fait grâce au **cartilage de conjugaison**.
- La **diaphyse** de l'os sous l'action du cartilage s'accroît en longueur jusqu'au début de la vie adulte.
- Le rythme de croissance est réglé par une hormone (somatotropine ou GH sécrétée par l'hypophyse).



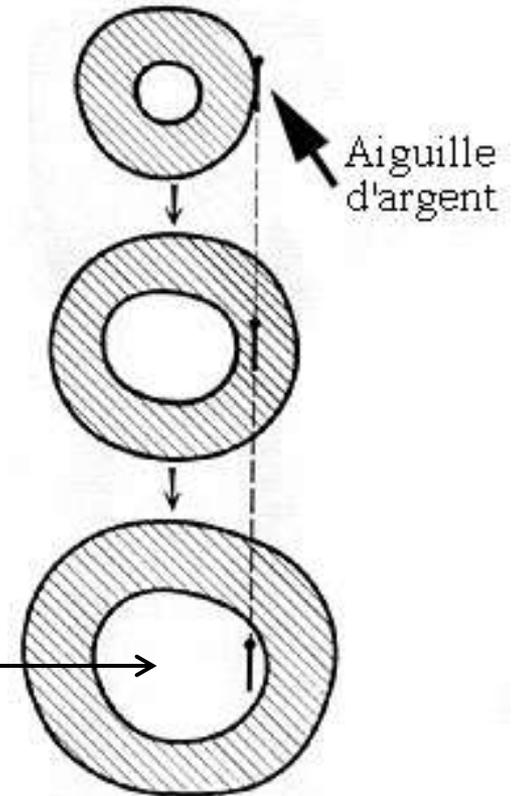


**Figure 6.9 Croissance en longueur d'un os long.** La région du cartilage de conjugaison la plus proche de l'épiphyse (face distale) comprend des chondrocytes au repos. Comme le montre cette photomicrographie ( $\times 250$ ), les cellules du cartilage de conjugaison (situé du côté proximal du cartilage au repos) sont disposées en quatre couches qui diffèrent par leurs fonctions. (1) Empilements de chondrocytes en mitose. (2) Chondrocytes subissant une hypertrophie suivie de calcification de la matrice. (3) Région occupée par des chondrocytes morts; la matrice commence à se désintégrer. (4) L'ossification est en cours sur la partie du cartilage de conjugaison qui fait face au canal médullaire: les ostéoblastes déposent la matrice osseuse autour des restes de cartilage, formant ainsi des travées osseuses.

#### 4) Accroissement en épaisseur

- croissance par **apposition**
- s'effectue grâce au périoste qui élabore des couches successives d'os.
- Dans le même temps, il y a un accroissement du canal médullaire.
- La matière osseuse est détruite par des ostéoclastes. Le canal médullaire conserve à l'os une solidité considérable tout en l'allégeant.

Canal médullaire



[Animation : formation des lamelles concentriques](#)

## 5) Remodelage ou remaniement osseux

L'os n'est pas une masse statique, mais une masse soumise à de constantes transformations .

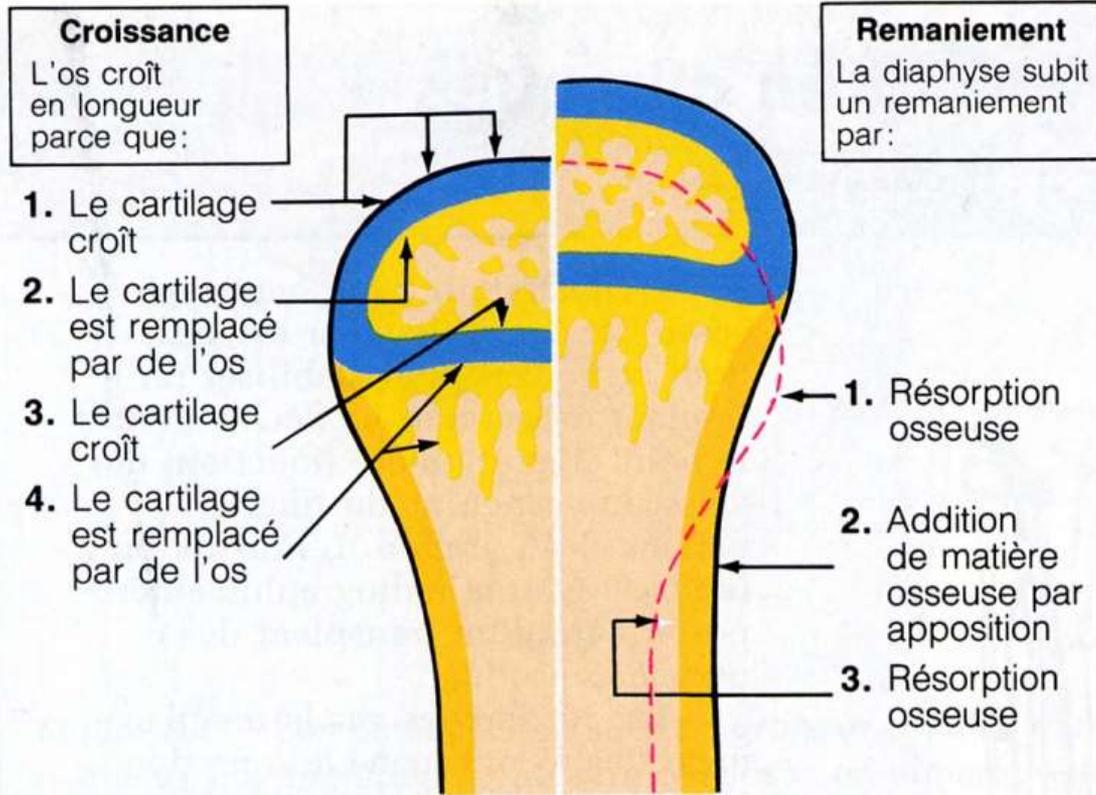
Durant la croissance, **l'os fibrillaire ou primaire** sera remplacé par la forme définitive de **l'os lamellaire**.

Même chez le squelette adulte, **10%** des os est soumis à des changements.

Ces transformations servent à :

- Prévention contre la dégénérescence des os
- Adaptation fonctionnelle à des charges mécaniques
- Réparation de microtraumatismes
- Mobilisation rapide de calcium

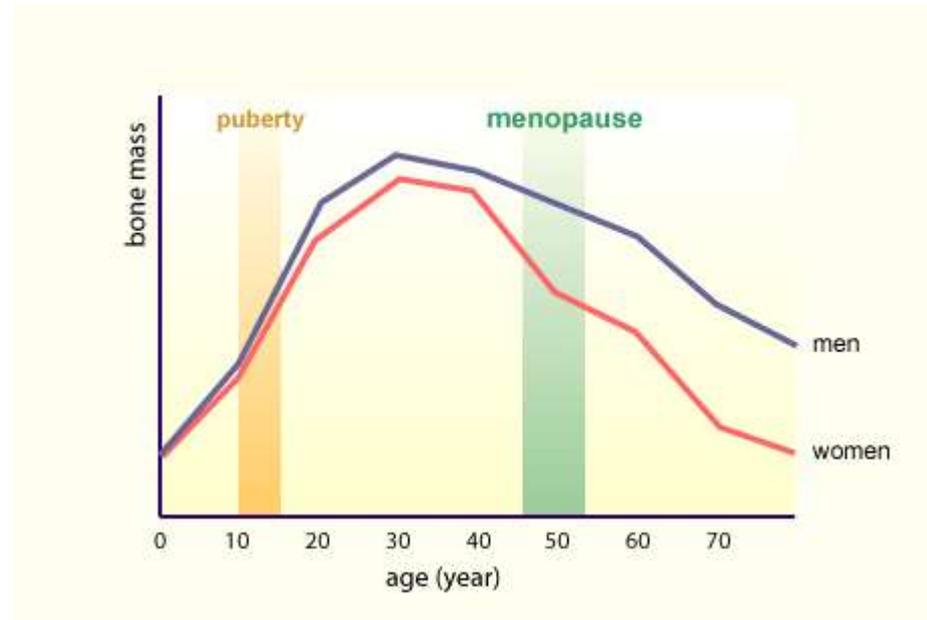
Importance de l'exercice  
physique : sollicités par les  
muscles les os se  
consolident

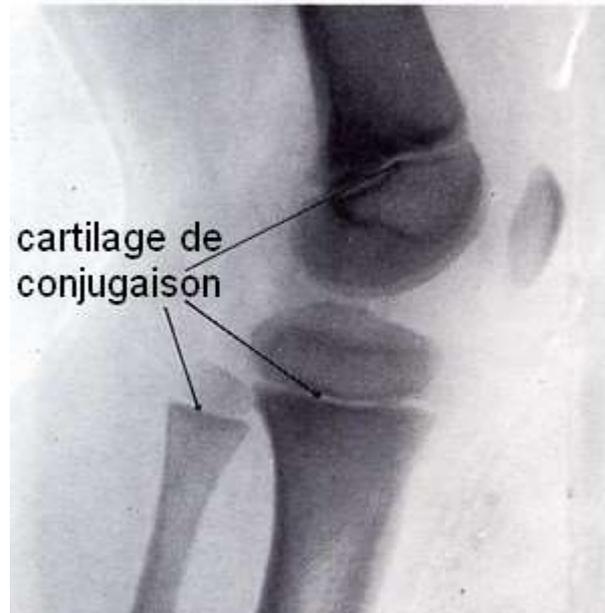


**Figure 6.10 Croissance et remaniement d'un os long au cours de l'enfance.** Les phénomènes indiqués à gauche constituent l'ossification endochondrale, qui se produit au niveau des cartilages articulaires et des cartilages de conjugaison pendant la croissance en longueur. Les phénomènes indiqués à droite sont ceux du remaniement osseux qui a lieu pendant la croissance de l'os long et qui lui permet de conserver ses proportions.

## 6) Développement et vieillissement de l'os

- A la naissance, les os longs du squelette sont bien ossifiés sauf les épiphyses.
- Après la naissance, les points d'ossification secondaire apparaissent selon une fréquence prévisible entre la 1<sup>ère</sup> année et l'âge préscolaire.
- Les cartilages de conjugaison assurent la croissance des os longs pendant l'enfance.
- La masse osseuse s'accroît pendant la puberté et l'adolescence. Le taux de formation des os est supérieur au taux de résorption.
- Vers 25 ans, tous les os sont ossifiés et la croissance du squelette s'arrête. La masse osseuse reste constante chez les jeunes adultes
- Vers 40 ans la résorption est plus rapide que la formation osseuse = **involution**





**La radiographie du genou d'un adulte ne présente plus aucune présence de cartilage de conjugaison. L'ossification est achevée. La croissance en longueur est donc terminée.**

**Voici une radiographie du genou d'un enfant. On peut apercevoir le cartilage de conjugaison qui est responsable de la croissance en longueur de l'os.**





12 ans



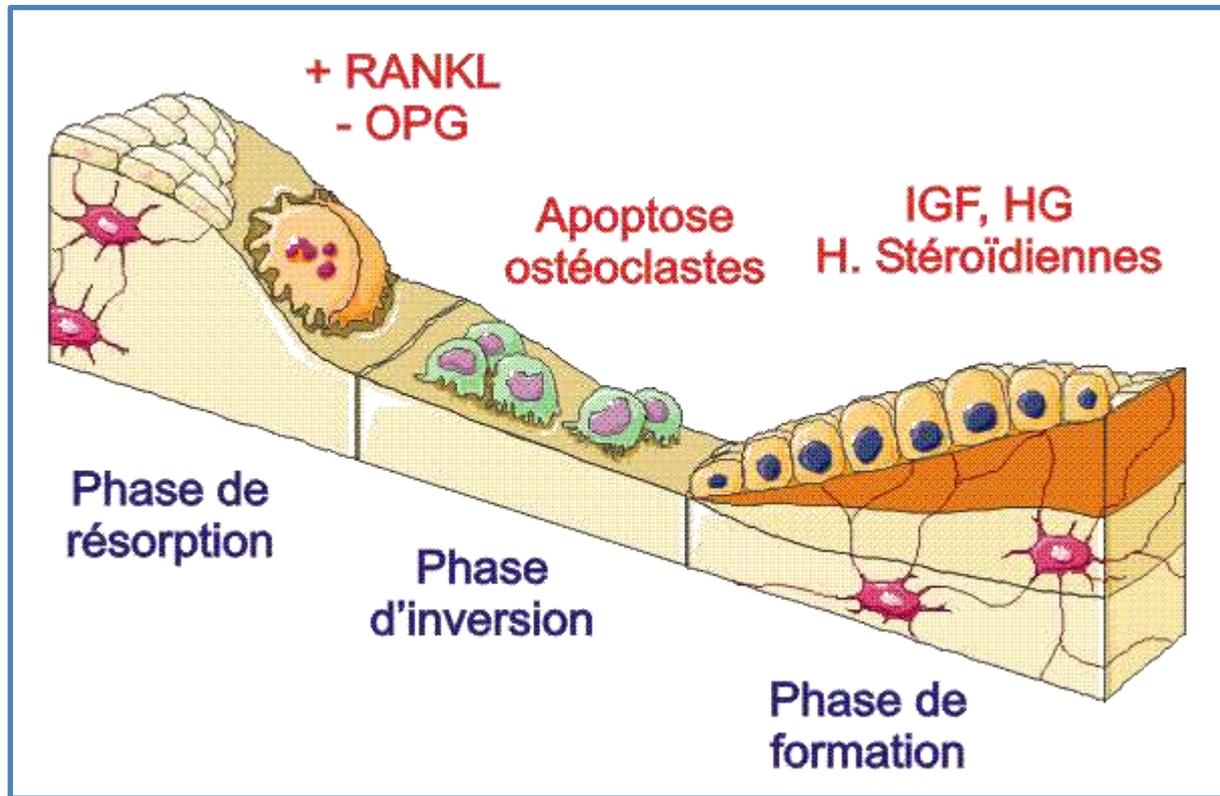
# IV/ Régulations du remaniement osseux

## 1) Régulation au sein d'une unité osseuse

- La régulation du remaniement osseux se fait par **voie hormonale ou mécanique** ( La **charge mécanique** des os est la plus importante régulation pour un bilan équilibré du remaniement osseux).
- Les ostéoblastes régulent en principe les ostéoclastes (exception : l'hormone calcitonine agit directement).

- L'os trabéculaire, un réseau spongieux de délicats feuillets d'os appelés travées constitue 20 % du squelette, mais représente ~80 % du renouvellement des cellules osseuses.
- Par contraste, l'os cortical constitue 80 % du squelette, mais ~20 % du renouvellement.
- La surface interne de l'os cortical, l'endoste, est le site primaire du remodelage osseux et des activités métaboliques, tandis que la surface externe, le périoste, est le site de la formation osseuse.

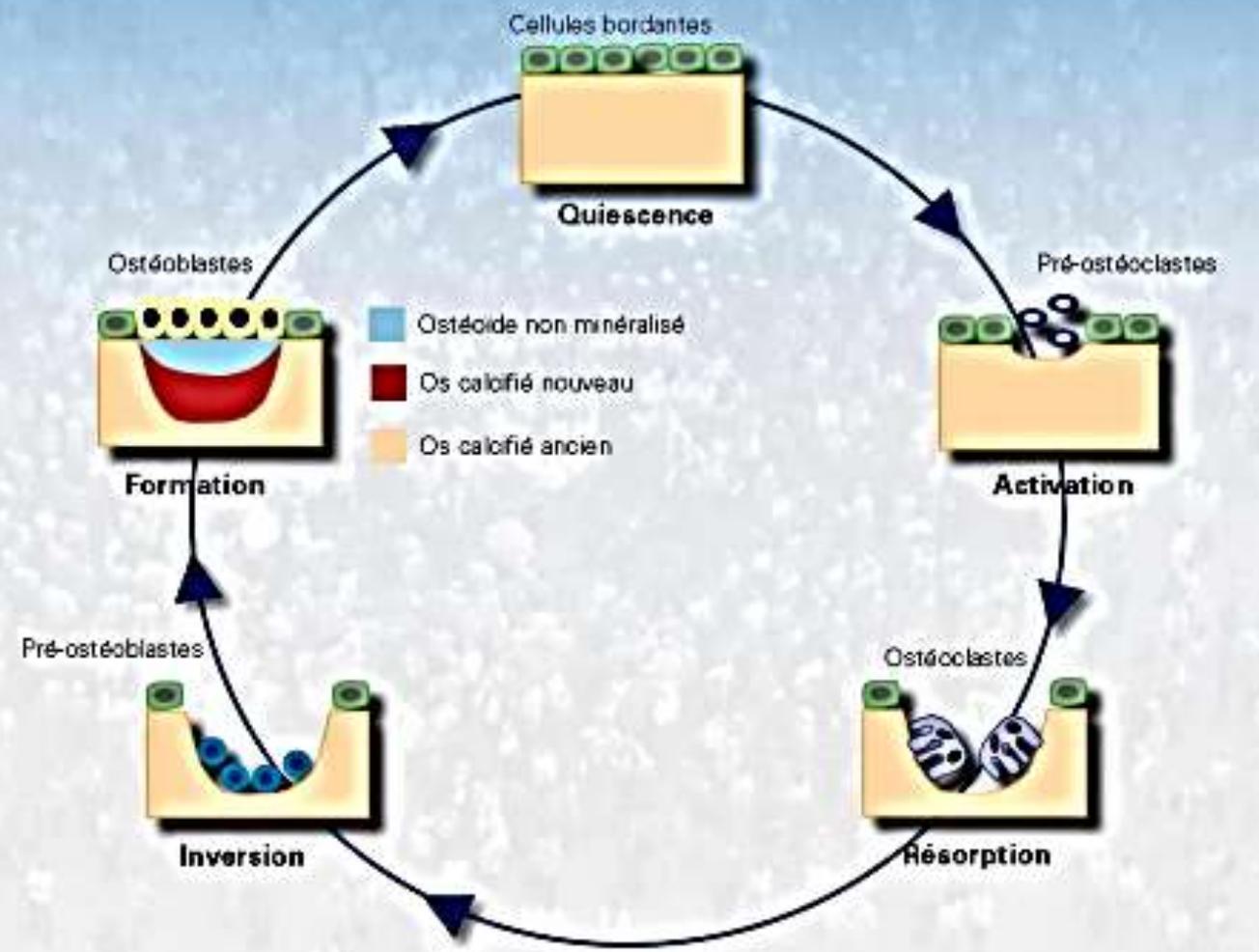
L'équilibre normal de la structure osseuse est réalisé au sein d'une **unité osseuse**.



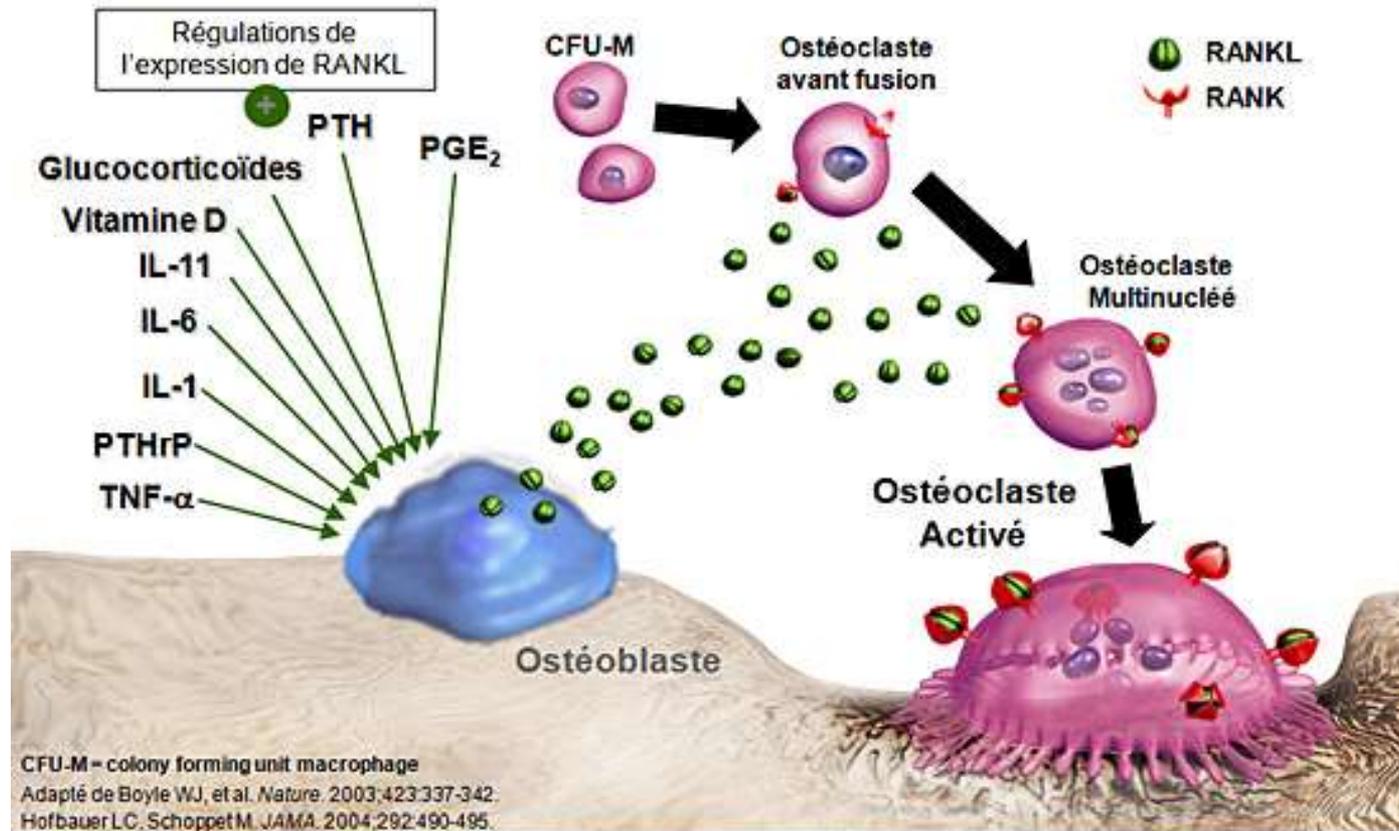
**RANKL** : protéine exprimée par les **ostéoblastes** qui stimule les ostéoclastes en vue de la résorption osseuse.

**Ostéoprotégérine – OPG** : protéine exprimée par les **ostéoblastes** qui inhibe RANKL

# REMODELAGE OSSEUX

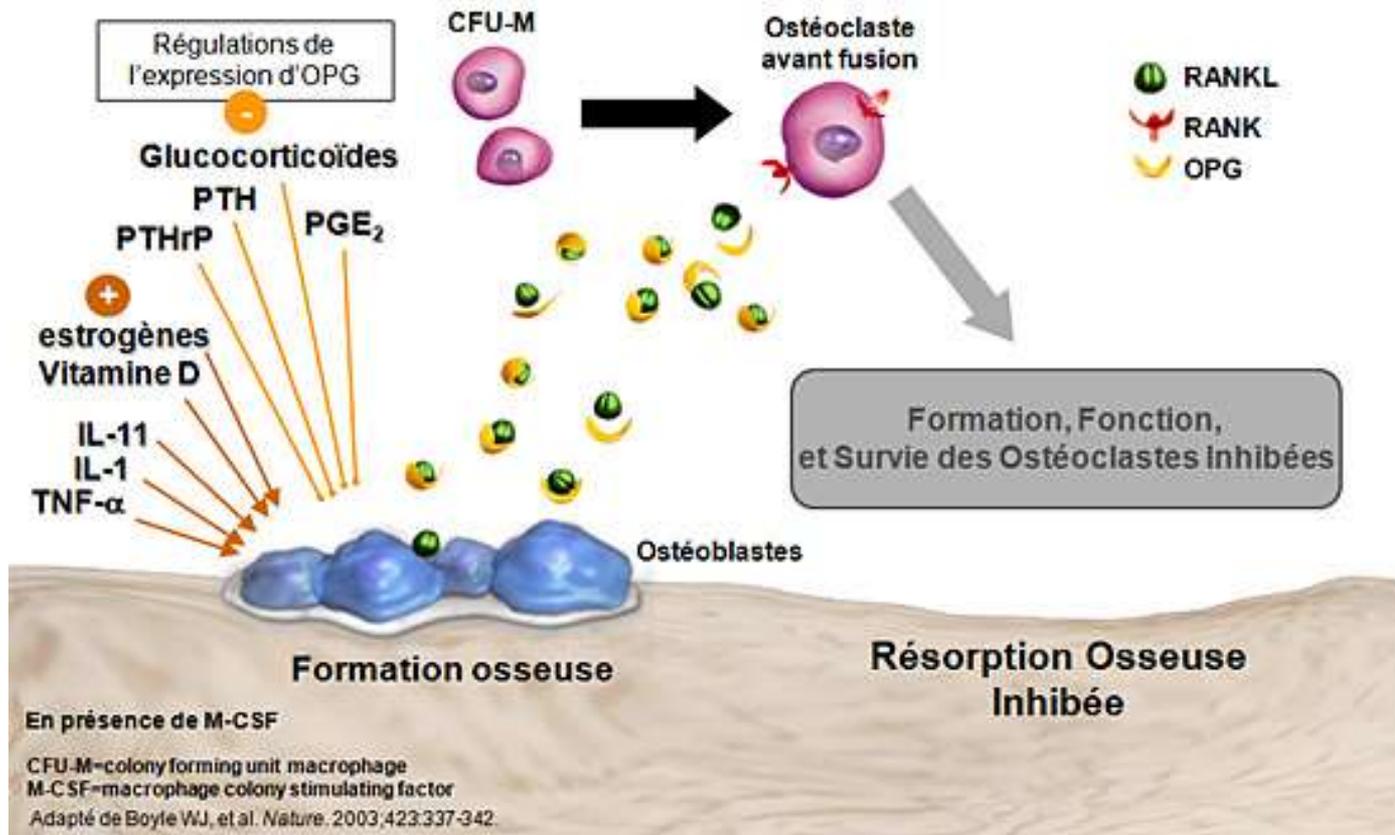


## RANK Ligand: médiateur essentiel de la formation, fonction et survie des ostéoclastes



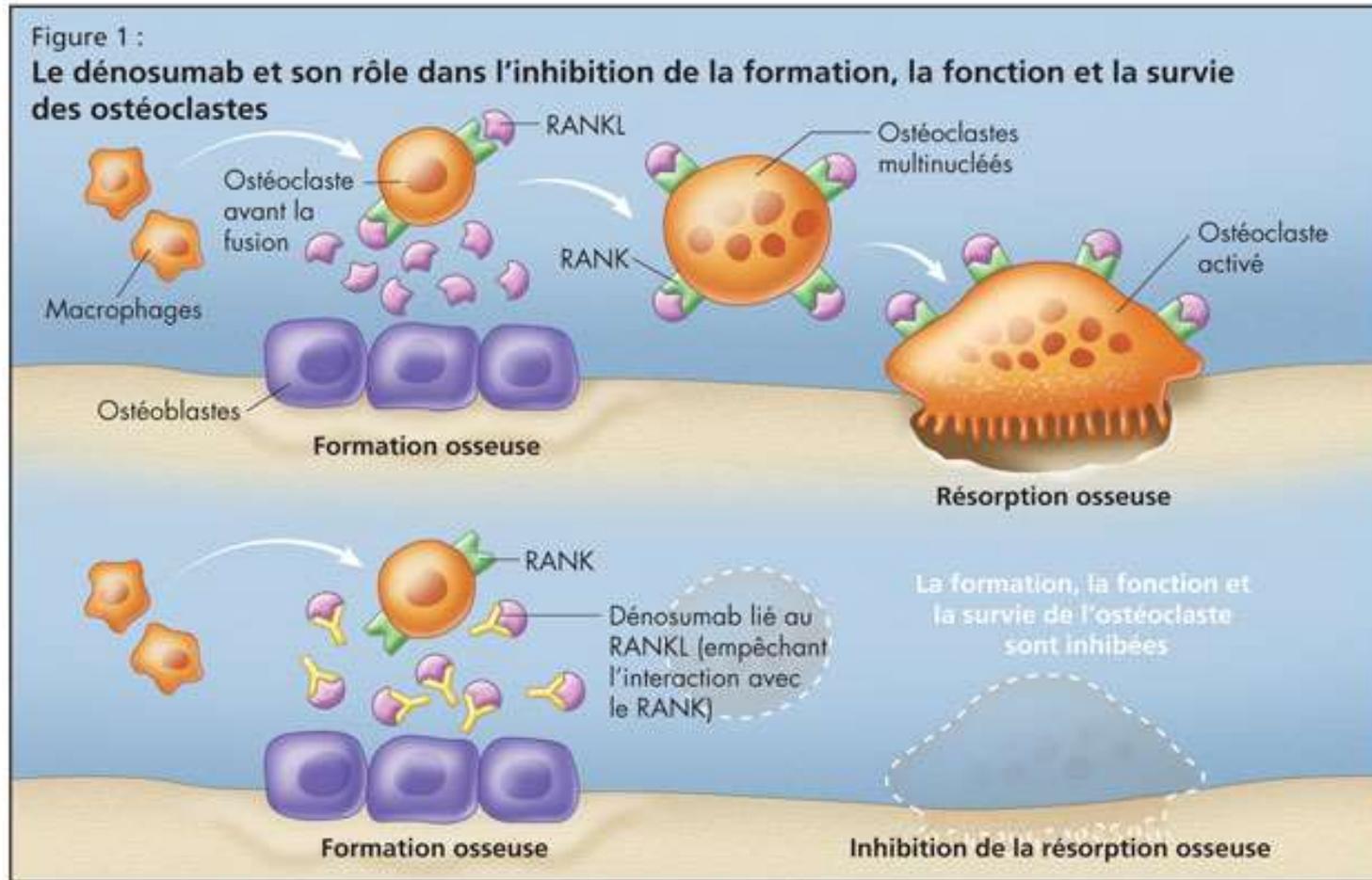
Une plus grande quantité de RANKL signifie une augmentation de la perte osseuse.

## L'ostéoprotégérine, OPG : un récepteur leurre qui inhibe la différenciation, fonction et survie des ostéoclastes



L'ostéoprotégérine (OPG) offre un site additionnel de liaison pour RANKL et agit comme un récepteur leurre qui empêche le ligand RANK de se lier à son récepteur cellulaire, RANK, conduisant à l'inhibition des ostéoclastes, donc inhibe la résorption osseuse.

## Application :



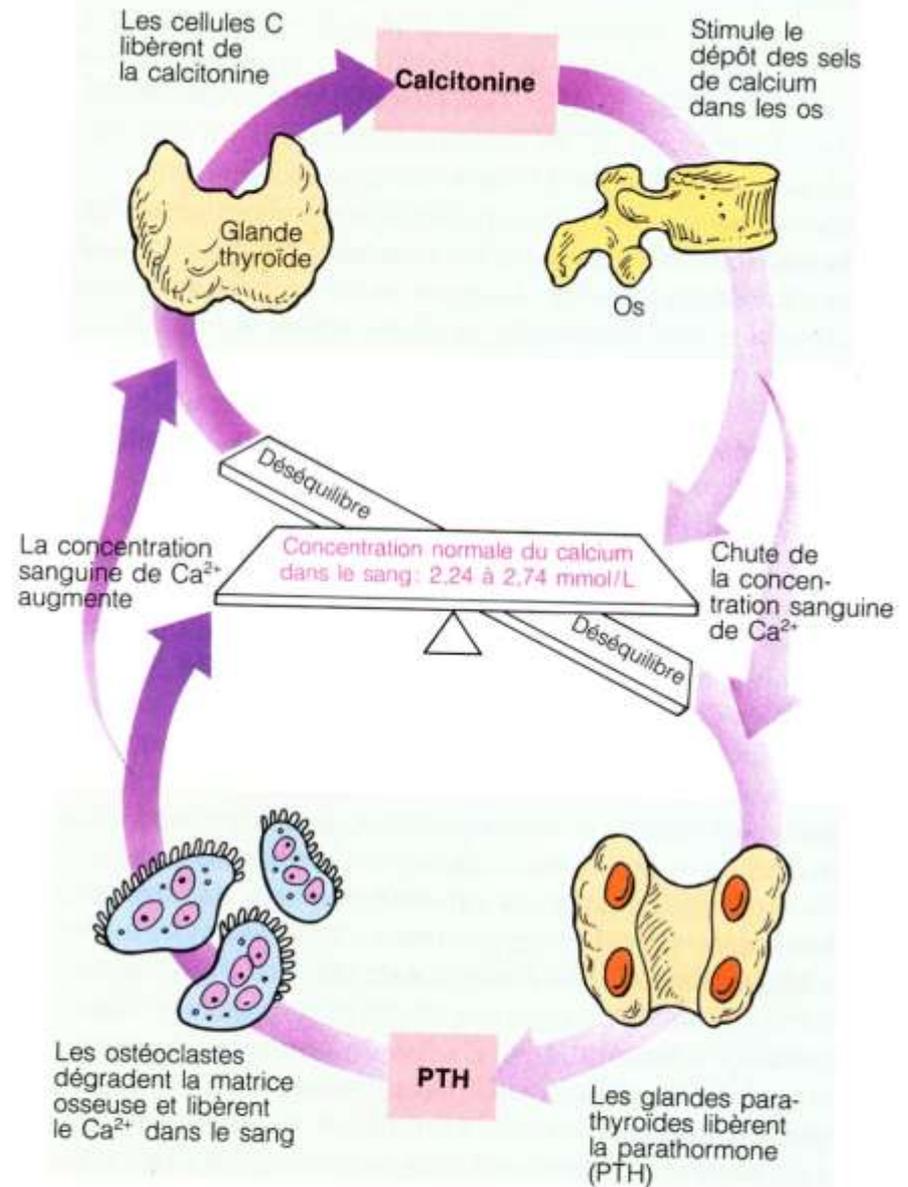
Le dénosumab est un traitement contre l'ostéoporose, conçu pour viser RANKL. Il est un anticorps monoclonal (IgG2) entièrement humain qui se lie à RANKL avec haute affinité et spécificité. Il bloque l'interaction de RANKL avec RANK, imitant l'ostéoprotégérine.

## 2) Régulation de la calcémie

**Calcémie basse** => La **PTH** (parathormone (84 aa) sécrétée par les glandes parathyroïdes ) est libérée et elle stimule la digestion de la matrice osseuse par les ostéoclastes ce qui provoque la libération du calcium.

*Mécanisme : La **PTH** fait chuter le quotient **OPG/RANK-L** en bloquant la production d'OPG et en augmentant les **RANK-L** sur la surface des ostéoblastes.*

Si **Calcémie forte**, la **calcitonine** (sécrétée par cellules C parafolliculaire de la thyroïde) est libérée et elle stimule les ostéoblastes afin qu'ils retirent du Ca du sang et le fixe sur les os.



**Figure 6.12 Régulation hormonale de la concentration d'ions calcium dans le sang.** La parathormone (PTH) et la calcitonine ont des effets antagonistes sur la régulation de la calcémie.

*Mécanisme d'action de la calcitonine (peptide 32 aa):*

- inhibe les ostéoclastes, ce qui diminue la résorption osseuse et donc augmente le stockage du calcium dans l'os ;
- diminue l'absorption du calcium par le duodénum en diminuant l'activité de la vitamine D, donc action indirecte au niveau de l'intestin ;
- augmente l'excrétion du calcium par les reins.

La **vitamine D** (vitamine liposoluble) est avant tout une hormone synthétisée dans l'organisme humain à partir d'un dérivé du cholestérol sous l'action des rayonnements UVB.

- Elle favorise l'absorption du calcium et du phosphore par les intestins,
- ainsi que leur réabsorption par les reins.

La vitamine D n'est pas très présente dans l'alimentation courante. Ce n'est pas très gênant car seule une petite partie de la vitamine D provient de l'alimentation. Les aliments les plus riches en vitamine D sont les foies de poissons.

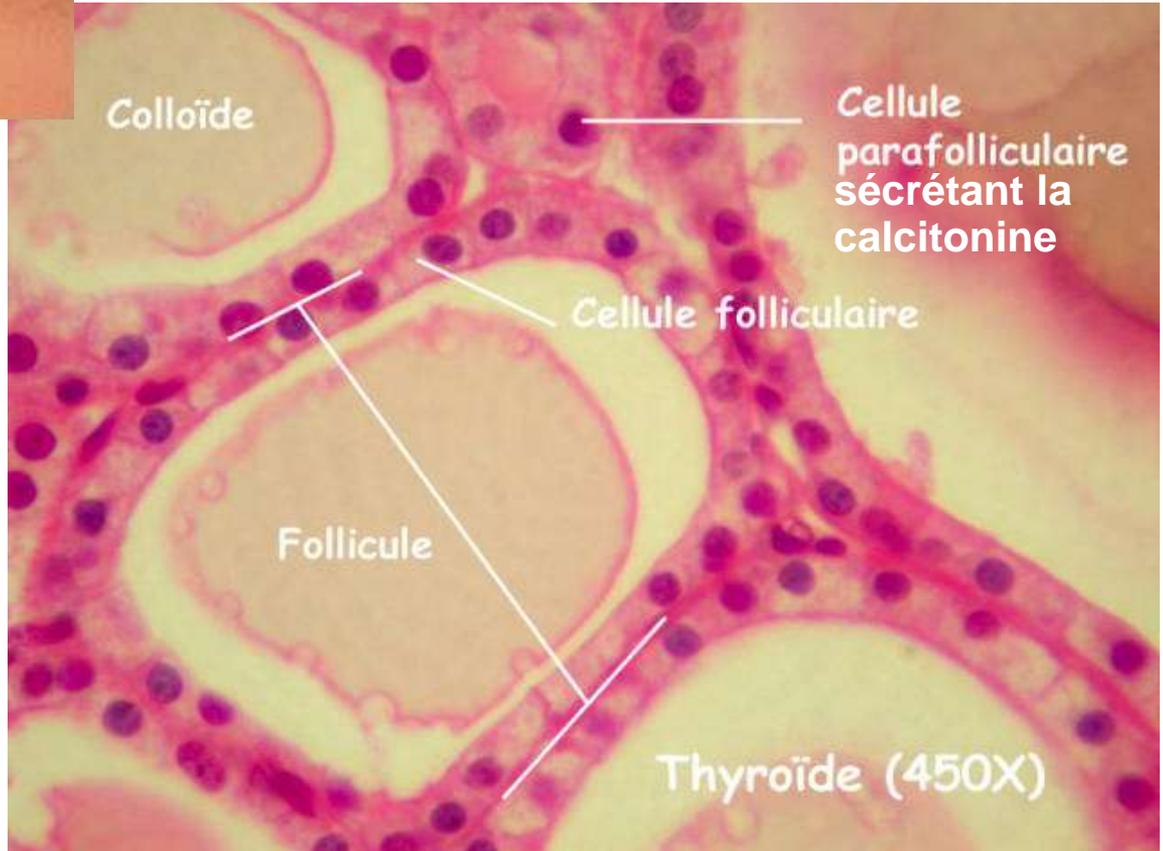
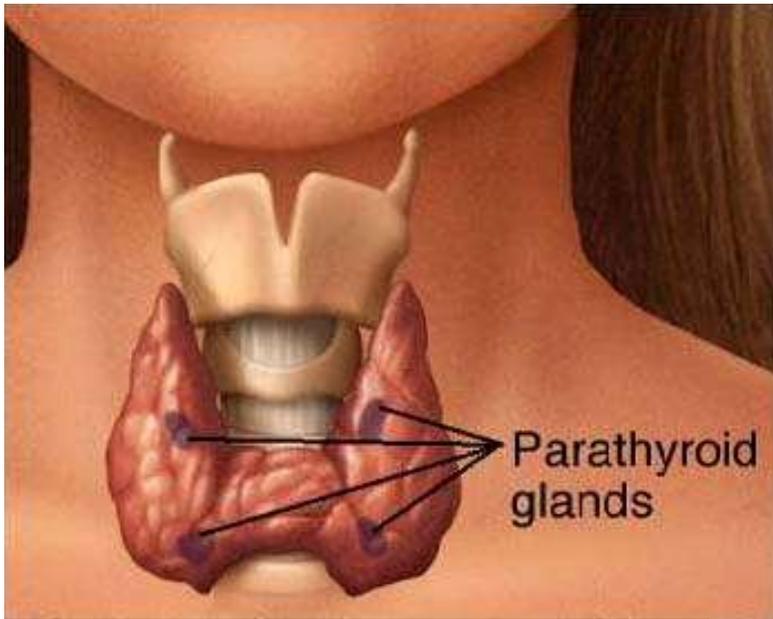
La vitamine D est peu répandue dans la nature et les aliments courants

On retrouve la **vitamine D3** dans les produits d'origine animale : les **huiles de foie de poisson (flétan, morue)**, le jaune d'œuf, le foie d'animaux, les poissons gras (saumon, maquereau, sardines,...), le lait enrichi (lait entier, lait de soja), le beurre, certains fromages....

Les **sources de vitamine D2** sont d'origine végétale : les champignons, les levures, les céréales, les légumes verts crus, les huiles végétales, ...

## Liste des aliments riches en vitamine D :

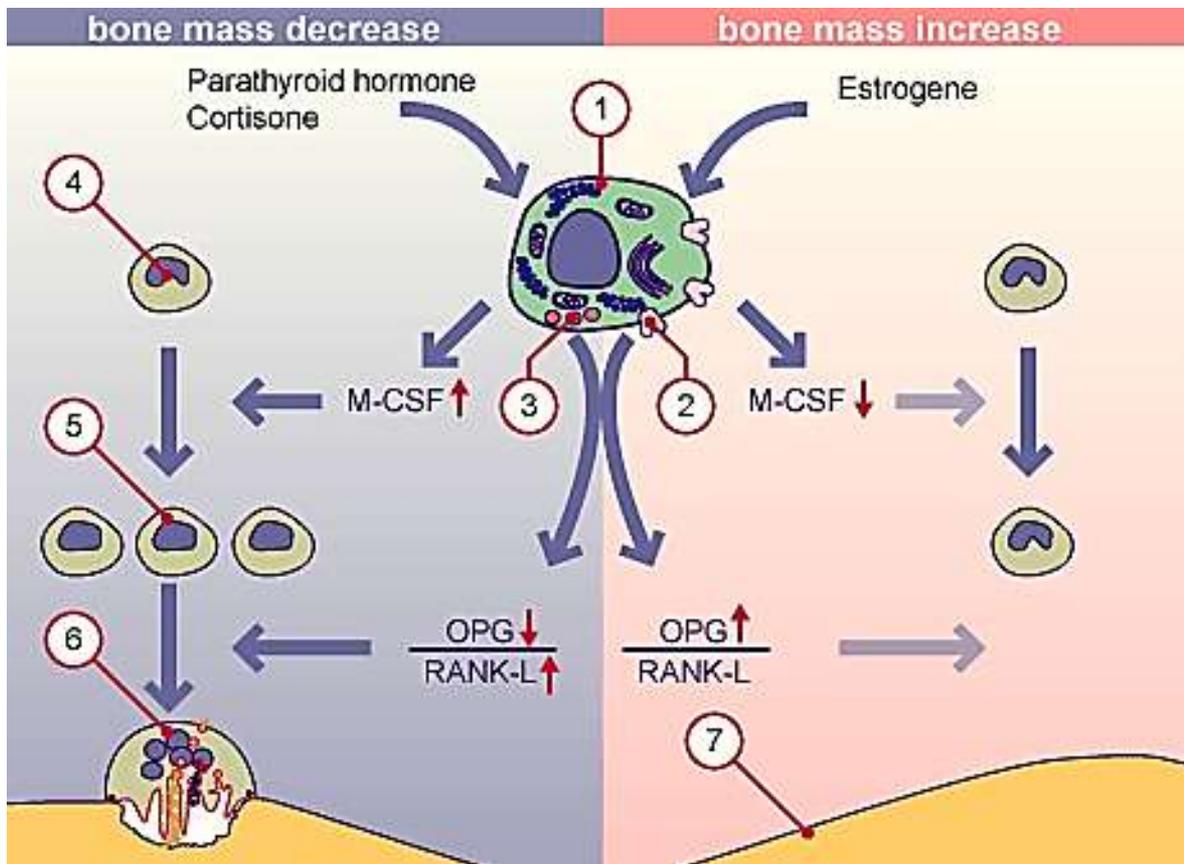
| Aliment                            | Teneur en vitamine D              |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Huile de foie de thon (1c à thé)   | 250.000 U.I soit 6250 microgramme |
| Huile de foie de flétan (1c à thé) | 12.500 U.I soit 310 microgramme   |
| Huile de foie de morue (1c à thé)  | 440 U.I soit 11 microgramme       |
| Saumon cuit (100g)                 | 360 U.I soit 9 microgramme        |
| Jaune œuf (100g)                   | 350 U.I soit 8,75 microgramme     |
| Maquereau cuit (100g)              | 345 U.I soit 8.5 microgramme      |
| Sardines à l'huile (100g)          | 300 U.I soit 7,5 microgramme      |
| Thon en conserve (100g)            | 300 U.I soit 7,5 microgramme      |
| Œuf entier (1)                     | 40 U.I soit 1 microgramme         |
| Champignons (100g)                 | 150 U.I soit 3,75 microgramme     |
| Foie de veau (100g)                | 50 U.I soit 1,25 microgramme      |
| Foie de bœuf cuit (100g)           | 40 U.I soit 1 microgramme         |
| emmental (30g)                     | 30 U.I soit 0,75 microgramme      |
| Lait de vache (250ml)              | 15 U.I soit 0,375 microgramme     |
| Beurre (10g)                       | 4 U.I soit 0,1 microgramme        |



## Rôle des œstrogènes

- stimulent les ostéoblastes pour une plus grande production d'OPG et donc augmente le quotient OPG/RANK-L.

Ce mécanisme empêche la dégradation des os, car tous les ligands RANK-L sont occupés: les précurseurs d'ostéoclastes ne peuvent donc pas être activés. (lien avec ménopause où chute des œstrogènes)



- 1 ostéoblaste
- 2 RANK-L
- 3 OPG
- 4 cellule souche macrophage
- 5 précurseurs de macrophage
- 6 ostéoclaste actif
- 7 os

# V/ Pathologies osseuses

## 1) Fractures : traumatique, pathologique\* ou de fatigue



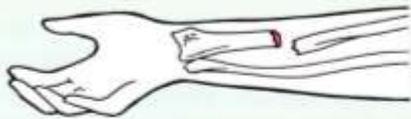
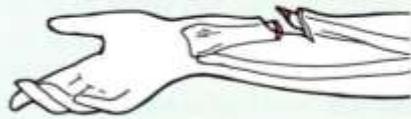
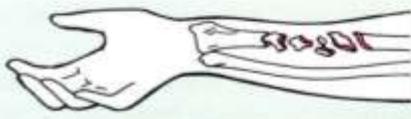
Une fracture est définie comme une solution de continuité de la corticale osseuse, qui survient lorsque celle-ci est soumise à une contrainte mécanique dépassant son seuil de déformation plastique.

Les tissus avoisinants, notamment le périoste, peuvent être lésés par le mécanisme traumatique, et la vascularisation du segment osseux intéressé peut s'en trouver compromise.

On estime à près d'un million le nombre de fractures observées chaque année en France, et plus de 90 pour cent de ces fractures se consolident parfaitement.

\* Ostéoporose, tumeur

**Tableau 6.2** Types de fractures les plus courants

| Type de fracture       | Illustration  | Description   | Commentaires  |
|------------------------|---|---|---|
| Fermée                 |    | L'os présente une cassure nette, mais ne pénètre pas la peau  | La majorité des fractures sont de ce type   |
| Ouverte                |    | Les bouts d'os cassés percent les tissus mous et la peau  | Plus grave qu'une fracture fermée; il peut s'ensuivre une grave infection de l'os (ostéomyélite) qui nécessite des doses massives d'antibiotiques |
| Plurifragmentaire      |    | Os brisé en de nombreux fragments   | Courante chez les personnes âgées en particulier, dont les os sont plus cassants  |
| Fracture par tassement |    | Os écrasé   | Courante dans les os poreux (ostéoporotiques)   |
| Enfoncement localisé   |   | La partie fracturée de l'os est poussée vers l'intérieur  | Exemple typique de fracture du crâne  |
| Engrenée               |   | Les extrémités de l'os fracturé sont poussées l'une vers l'autre                                    | Se produit souvent lorsqu'on tente d'amortir une chute avec les bras tendus; fracture courante de la hanche                                       |
| En spirale             |   | Cassure irrégulière, se produit lorsqu'une trop grande force tend à faire tourner l'os sur lui-même | Fracture courante chez les sportifs   |
| En bois vert           |  | Os fracturé de façon incomplète, à la façon d'une brindille de bois vert                            | Courante chez les enfants dont les os possèdent relativement plus de matrice organique et sont plus flexibles que ceux des adultes                |



# Traitement : immobilisation externe = contention, par attelles, plâtre, résine



Les bandes sont mouillées et enroulées dans un ordre et un sens précis, en fonction de la forme que l'on veut donner au plâtre.

Il faut attendre au moins 1 heure pour qu'un plâtre en vrai plâtre ne risque pas de se casser, et plusieurs heures pour qu'il soit parfaitement sec.

Les plâtres en résine durcissent plus ou moins vite selon la manière dont ils ont été mouillés, mais en 15 minutes vous êtes déjà tranquille.

**Surveillance = couleur, douleur, odeur**

# Traitement par ostéosynthèse

Chirurgical, sous anesthésie générale

- Enclouage centromédullaire
- Vis et plaque
- Fixateur externe





Broches, plaques, vis...

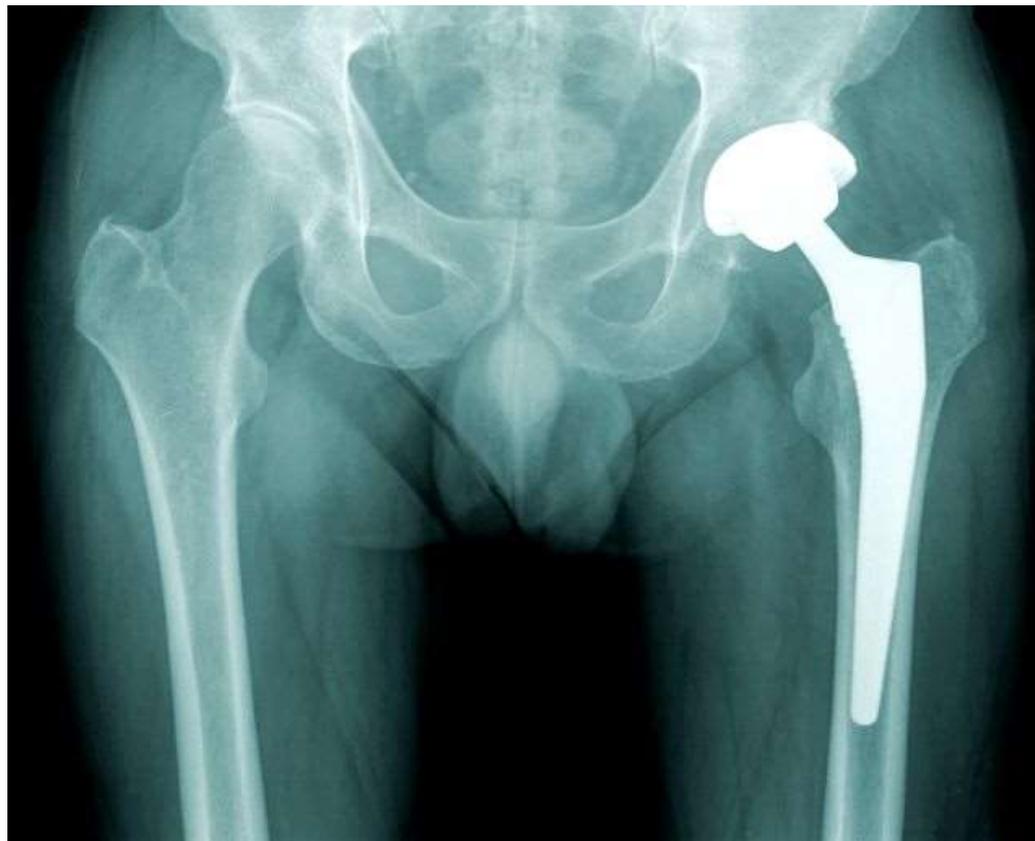
# traction



# Fracture du col du fémur



**Prothèse**



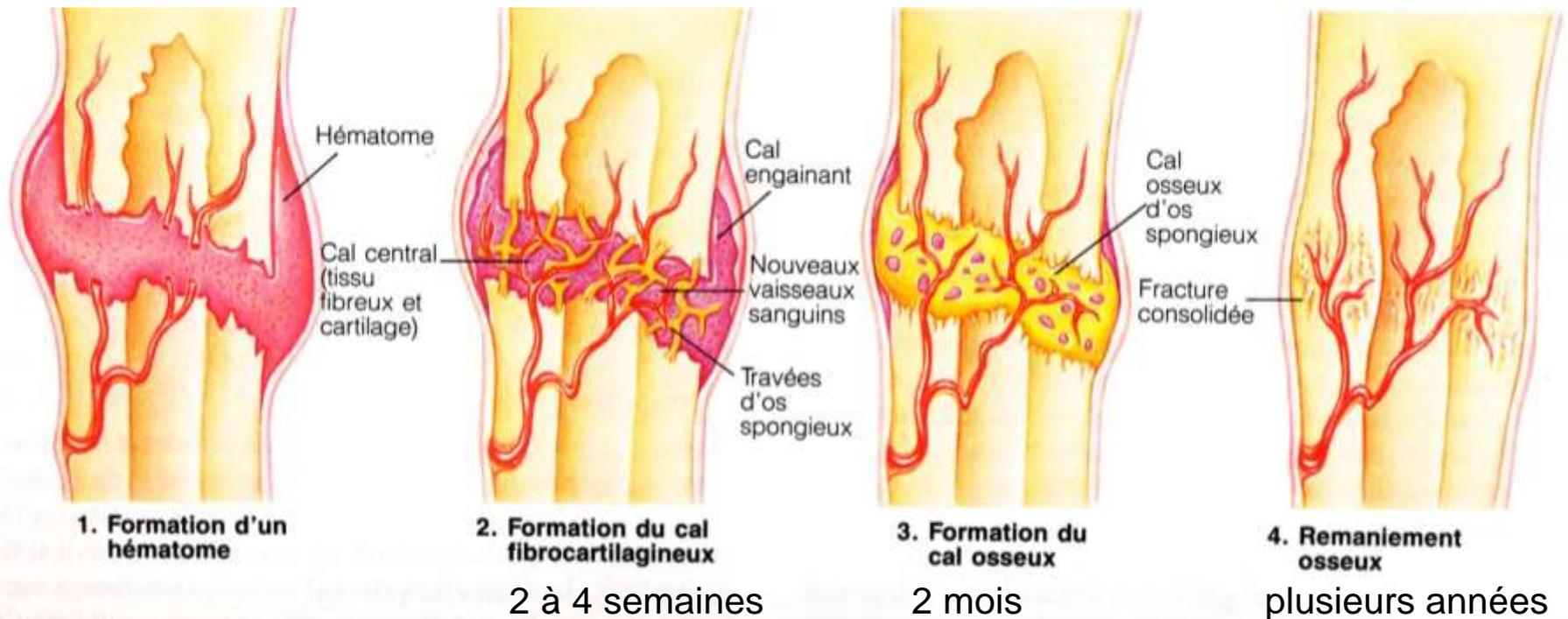


Figure 6.14 Phases de la consolidation d'une fracture.

Comme au cours de l'ossification endochondrale, le **cal fibreux** va être envahi par des chondroblastes qui vont synthétiser une matrice cartilagineuse en lieu et place du cal fibreux.

Progressivement, les ostéoclastes vont envahir le cal cartilagineux, le dégrader et remodeler les surfaces des pièces fracturées.

A la suite des ostéoclastes, les ostéoblastes synthétisent une nouvelle matrice osseuse minéralisée pour former le **cal osseux**.

A ce stade, les pièces osseuses sont raboutées et un dernier processus de remaniement réduira le volume du cal osseux pour redonner à l'os sa forme et sa composition biochimique d'avant le traumatisme.

## Suivi de la consolidation : Radiologie conventionnelle

Le bilan doit comprendre au moins deux incidences, séparées d'un angle de 90 degrés, afin de visualiser le foyer de fracture dans son ensemble. Le suivi radiologique d'une fracture traitée par plâtre est effectué, autant que faire se peut, hors contention.

Le tableau 3 expose les critères radiologiques recherchés attestant d'un processus de guérison favorable.

| Semaines   | Adultes                                      | Enfants   |
|------------|--|---|
| 1-3        | Maintien de la réduction                     | Maintien de la réduction, apparition du cal fibreux vers la troisième semaine |
| 6-9        | Apparition d'un «nuage» de cal               | «Nuage» de cal ou cal osseux  |
| 12 et plus | Cal osseux, disparition du foyer de fracture | Consolidation   |

Puis mise en charge

[Lien présentation fractures](#)



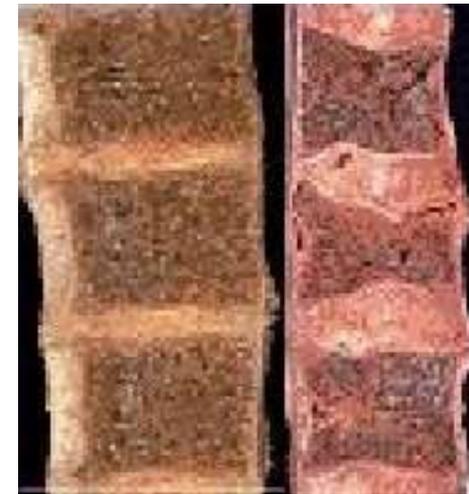
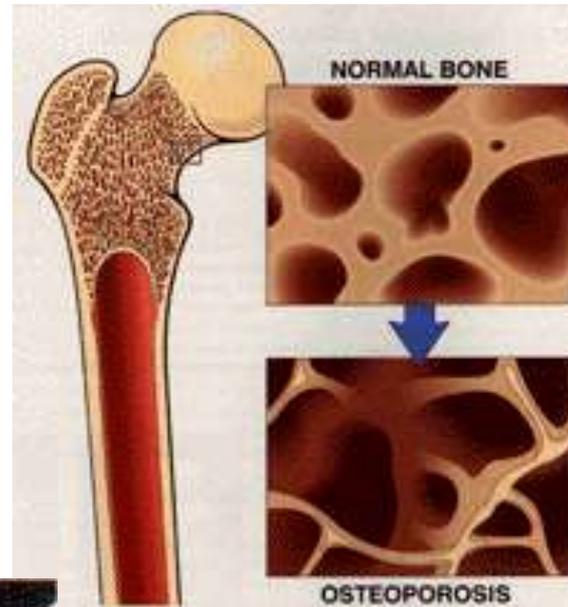
fracture du fémur



état après 3 mois

## 2) ostéoporose

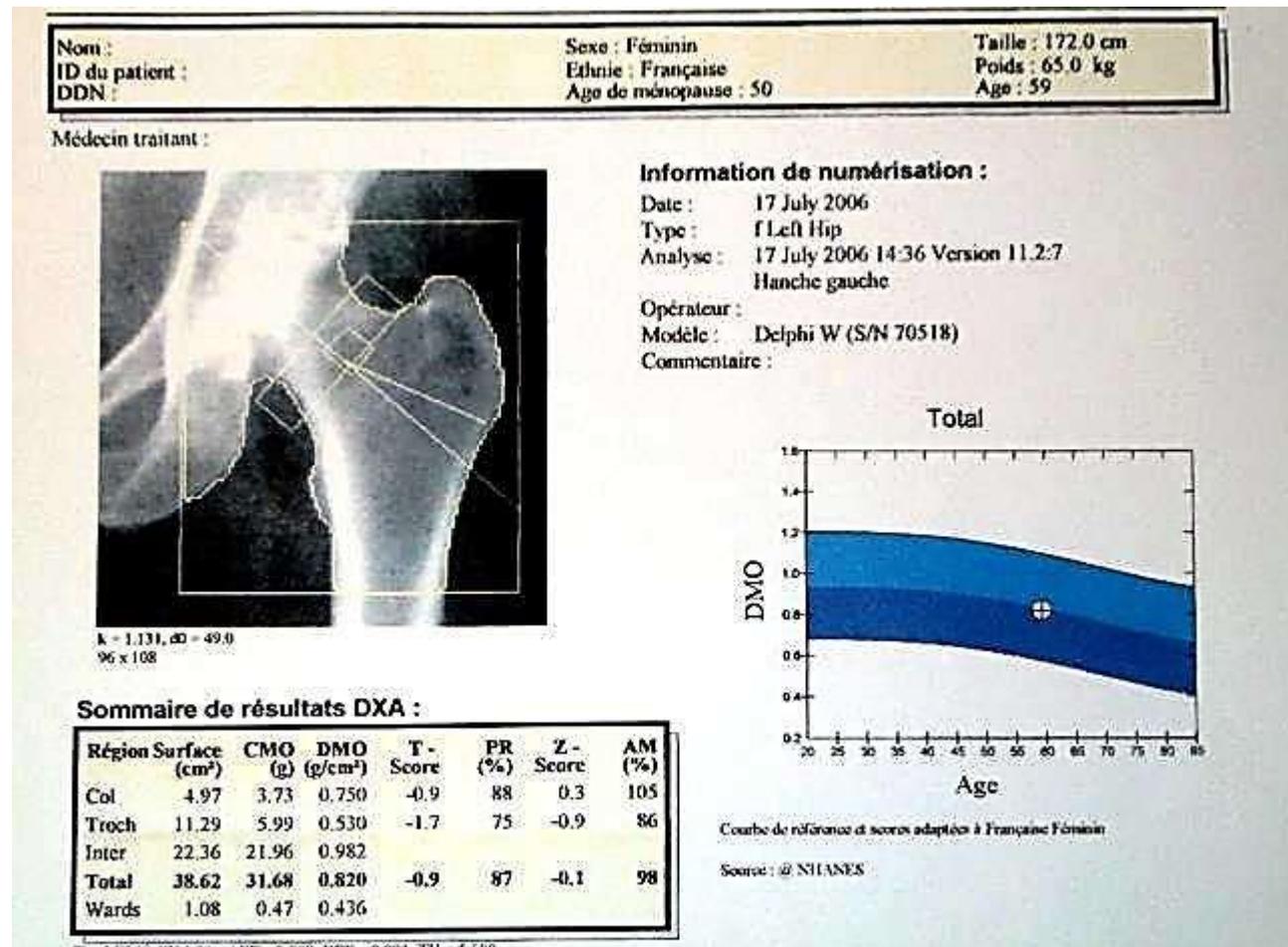
- Os moins dense, plus fragile
- Lié à ménopause



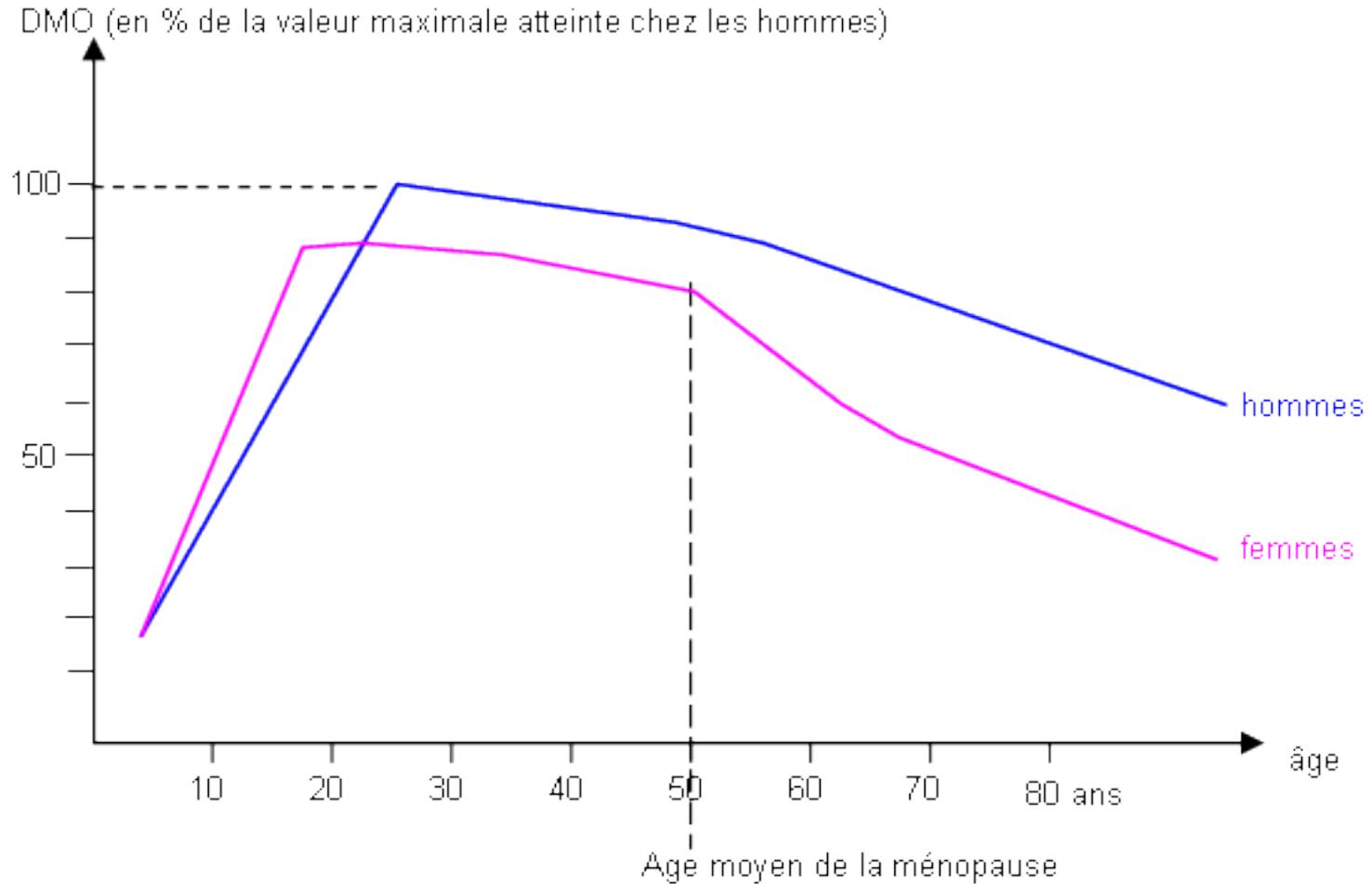
La perte osseuse liée à l'âge affecte surtout l'os trabéculaire (diminution de ~50% de sa densité qui se traduit par une diminution de ~70% de la résistance mécanique de l'os) et indique la part majeure que joue l'os trabéculaire dans la gestion de la contrainte mécanique

**DMO** : densité minérale osseuse : c'est la masse surfacique de l'os mesurée sur une partie du corps humain. La CMO est exprimée en g/cm<sup>2</sup> (grammes par centimètre carré). En anglais, la DMO est nommée BMD : bone mineral density.

**CMO** : contenu minéral osseux (en anglais BMC: bone mineral content) : c'est la masse de l'os mesurée sur une partie du corps humain, exprimée en grammes.



l'évaluation de la **densité minérale osseuse** s'effectue au niveau de 2 zones de mesure : le rachis lombaire et l'extrémité supérieure du fémur.



## Test d'**ostéodensitométrie** déterminant :

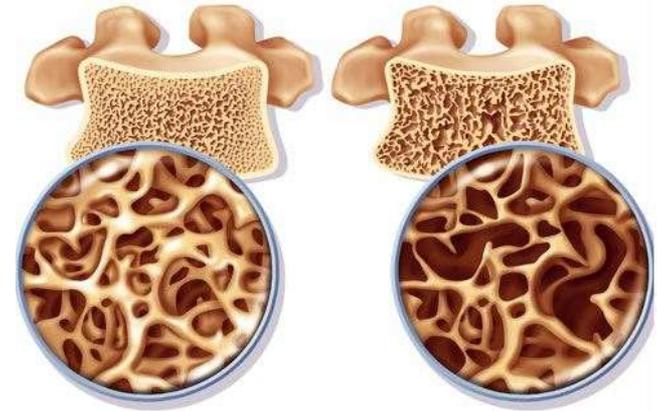
- la densité minérale osseuse (DMO)
- La DMO obtenue est comparée à celle d'une population de jeunes adultes (30 et 40 ans), sur la même zone osseuse. La différence entre la mesure de l'individu et la mesure de la moyenne de la population est appelée **T-score** et est exprimée en écart-type. Ce score définit l'ostéoporose.

T-score  $> -1$  = densité minérale osseuse normale.

$-2.5 < \text{T-score} < -1$  = Ostéopénie

T-score  $< -2.5$  = ostéoporose

T score  $\leq -2,5$  avec présence d'une ou plusieurs fractures = ostéoporose sévère.



Le **Z-score** est la différence entre la mesure réalisée chez l'individu et la moyenne des sujets du même âge et du même sexe.

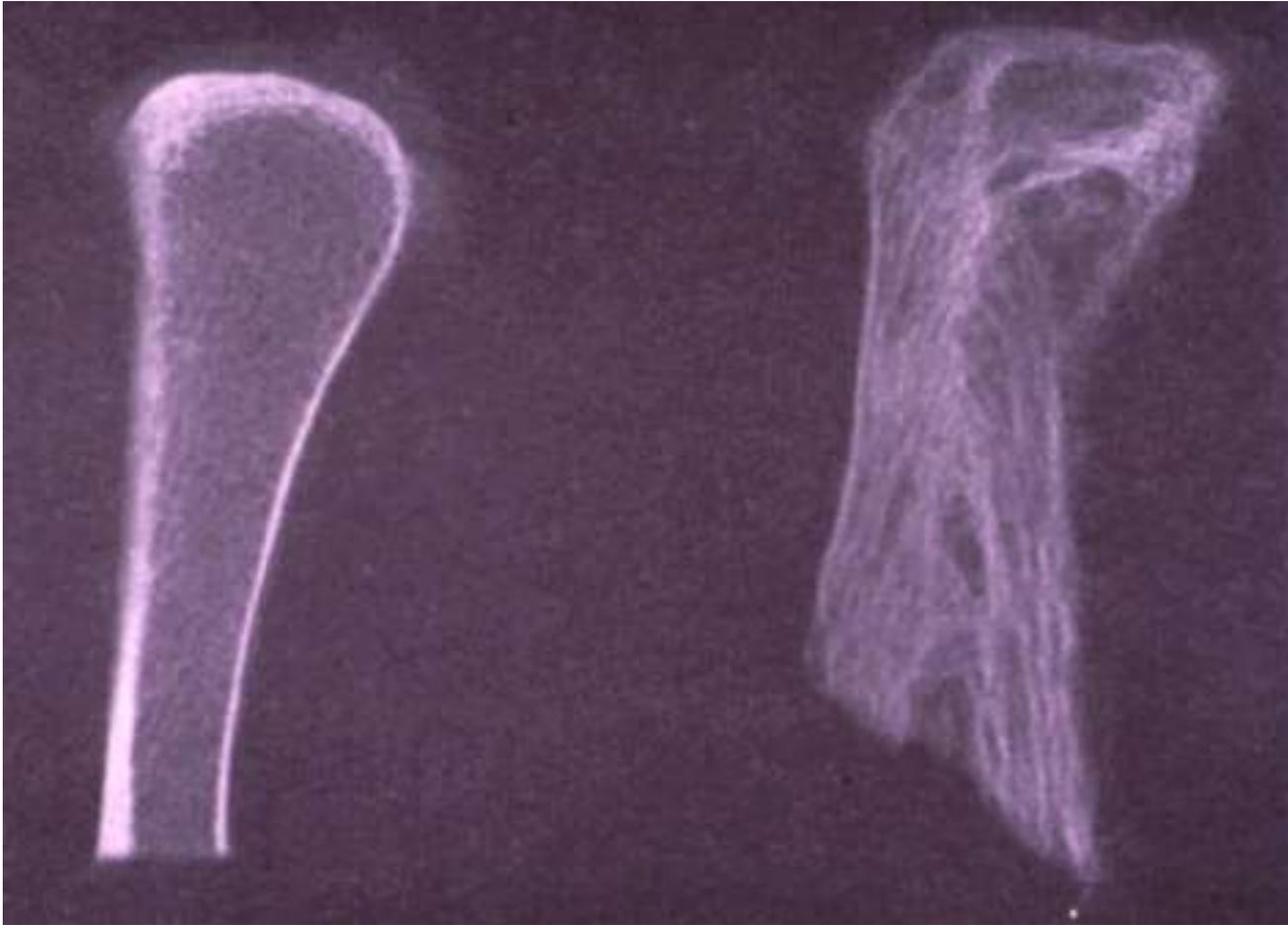
Le **T-score** est adapté aux femmes jeunes non ménopausées, à peau blanche, européenne ou nord-américaine.

Le **Z-score** est plus adapté aux enfants, adolescents, hommes adultes, personnes très âgées et aux femmes n'ayant pas les mêmes caractéristiques que celles citées précédemment.

### 3) Autres pathologies

- ❑ Ostéomalacie : décalcification osseuse induite par un défaut de minéralisation de la trame protéique des os. (équivalent chez l'adulte du rachitisme de l'enfant). Carence en vit D
- ❑ Maladie des os de verre ou ostéogénèse imparfaite (anomalie collagène)
- ❑ Ostéome et ostéosarcome

❑ Maladie de Paget : os fibrillaire  
[lien](#)



# VI/ les articulations

1) Déf : Point de contact entre 2 ou plusieurs os

## 2) Types d'articulation

On distingue deux types de classification des articulations.

- **Classification se basant sur la mobilité des articulations :**
  - Articulation mobile qui permet de nombreux mouvements : diarthrose.
  - Articulation semi-mobile qui permet peu de mouvements : amphiarthrose.
  - Articulation immobile qui ne permet aucun mouvement : synarthrose.
- **Classification selon leur composition :**
  - Articulation fibreuse qui est composée de tissu fibreux.
  - Articulation cartilagineuse qui est composée de cartilage hyalin ou du fibrocartilage.
  - Articulation synoviale qui est unie par une capsule articulaire composée d'une couche fibreuse et d'une membrane séreuse synoviale, sécrétant un liquide particulièrement lubrifiant : la synovie.

### 3) Articulation fibreuse :

ou synfibrose, est un type d'articulation dont les os sont unis par du tissu fibreux.  
Ne permet quasi aucun mouvement (synarthrose)

Ces articulations peuvent être subdivisées entre trois classes selon leur situation :

La suture.

La syndesmose.

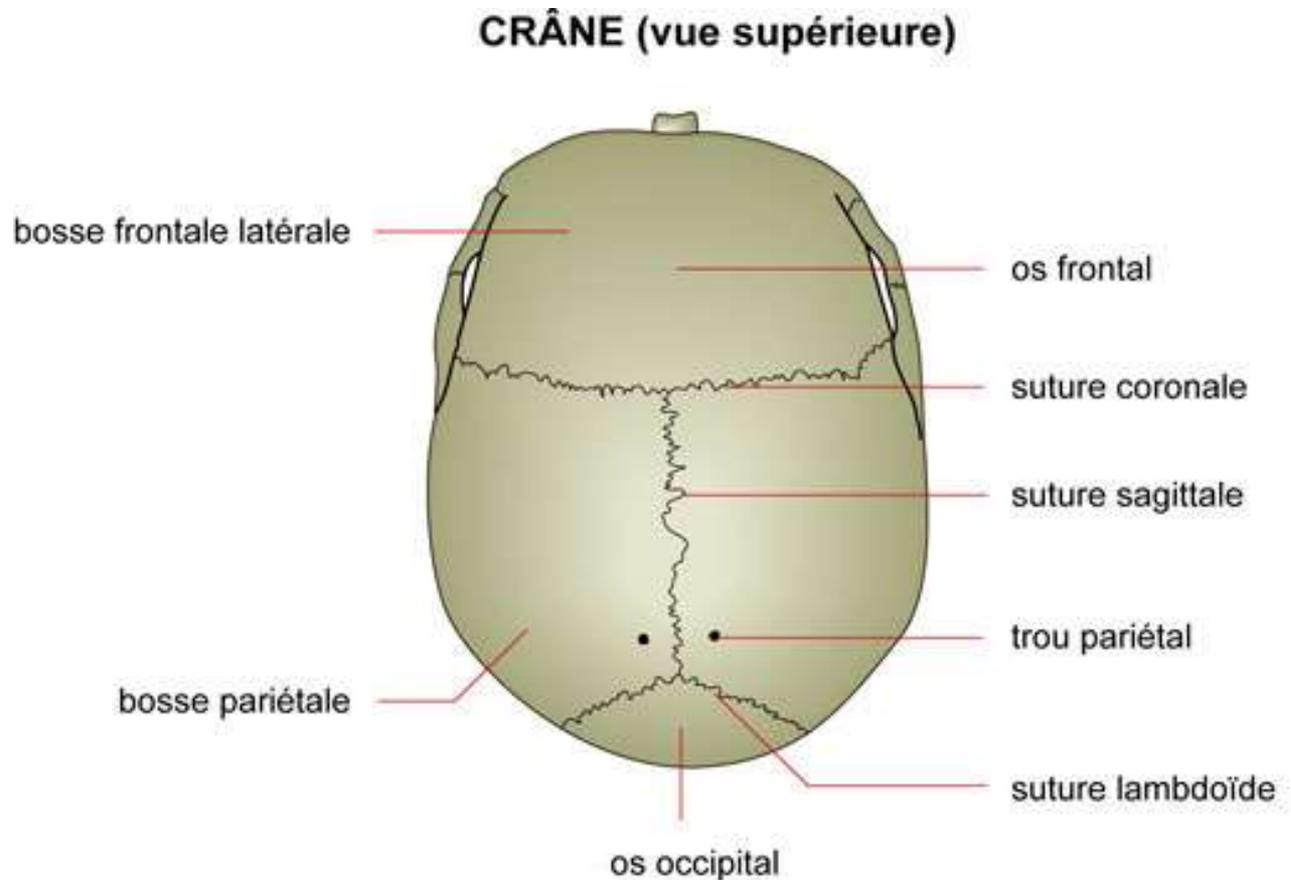
La gomphose.

Exemples:

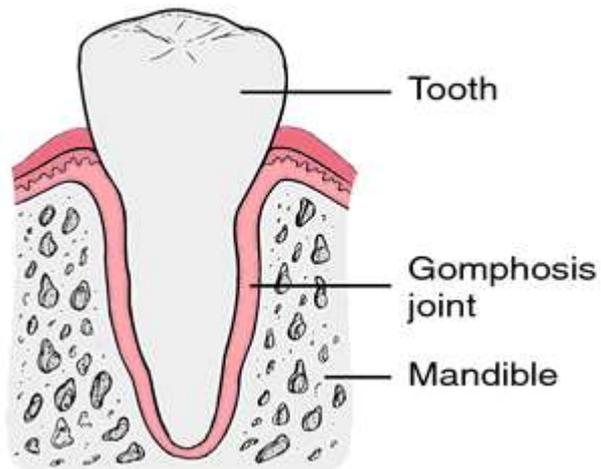
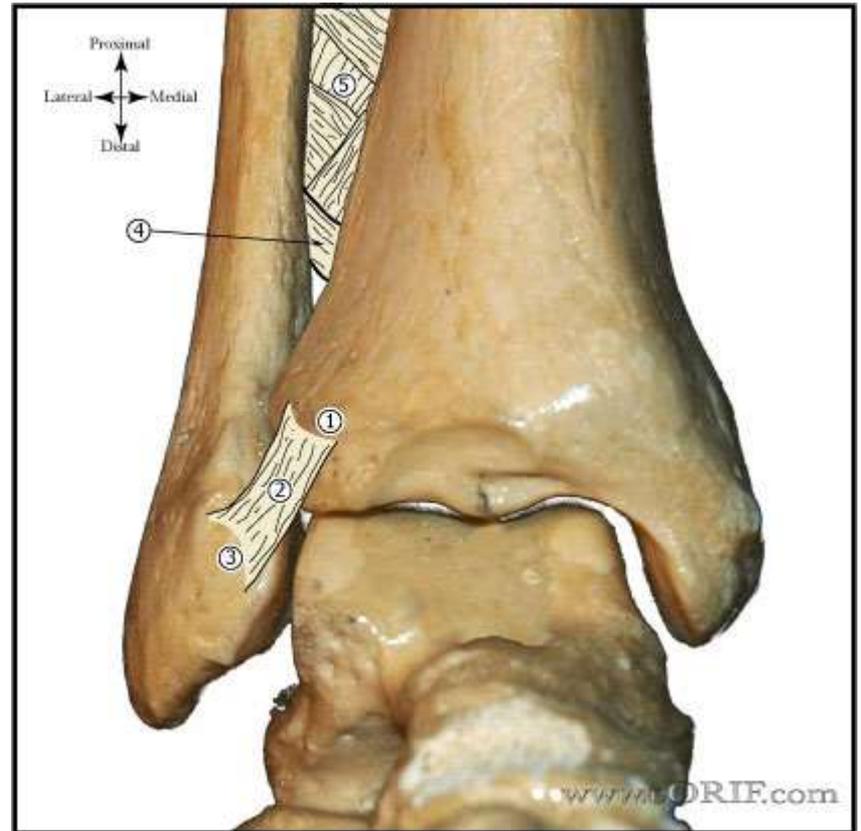
Suture crâne

(s'ossifie à l'âge

adulte = synostose)



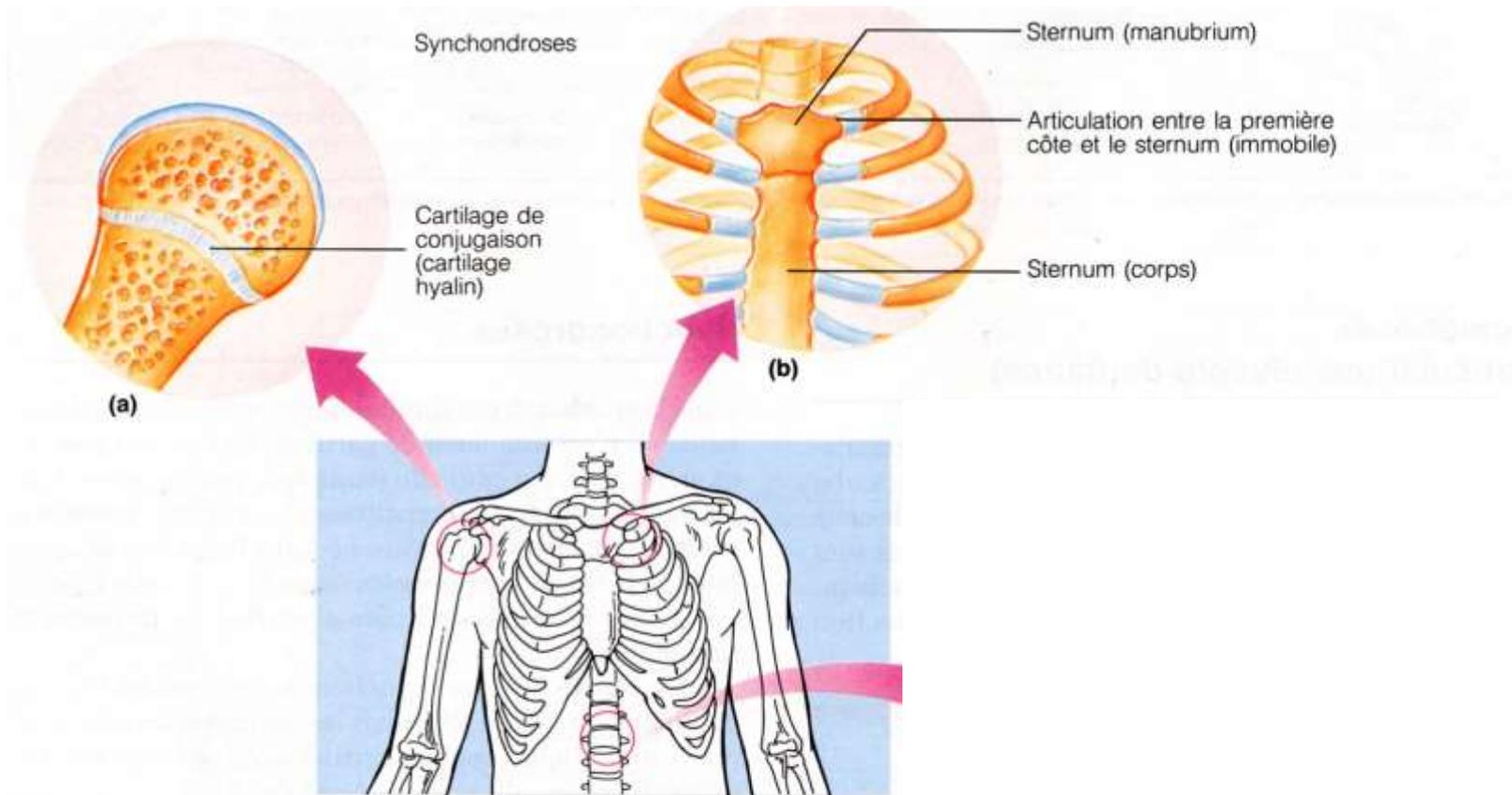
**Syndesmose :**  
Relié par faisceau de ligament  
ou membrane interosseuse



**Gomphose :** dents

## 4) articulation cartilagineuse

- Primaire ou **synchondrose** composée de cartilage hyalin  
(Ex : cartilage de conjugaison d'un os en croissance, sternum et cotes 1)



**Figure 8.2 Articulations cartilagineuses.**

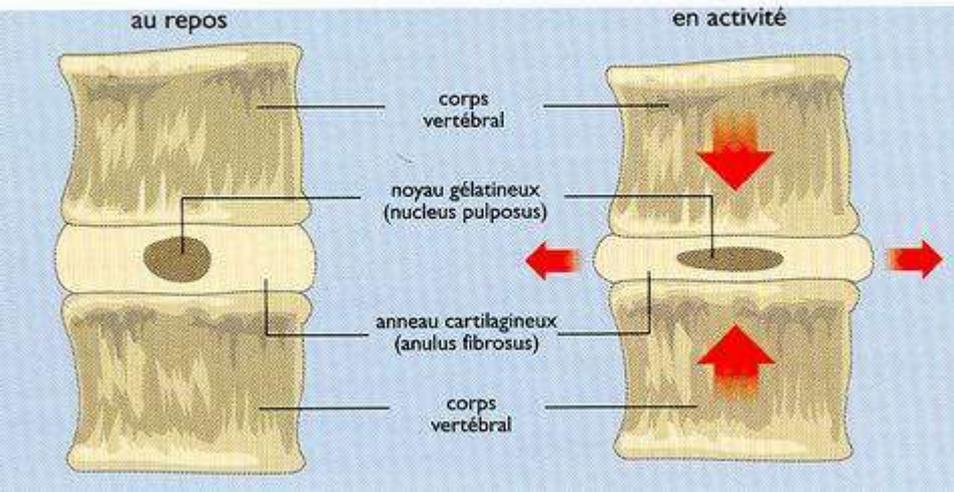
(a) Le cartilage de conjugaison observé sur un os long pendant la croissance est une synchondrose temporaire; la diaphyse et

l'épiphyse sont reliées par du cartilage hyalin qui s'ossifie complètement par la suite. (b) L'articulation sterno-costale entre la première côte et le manubrium sternal est

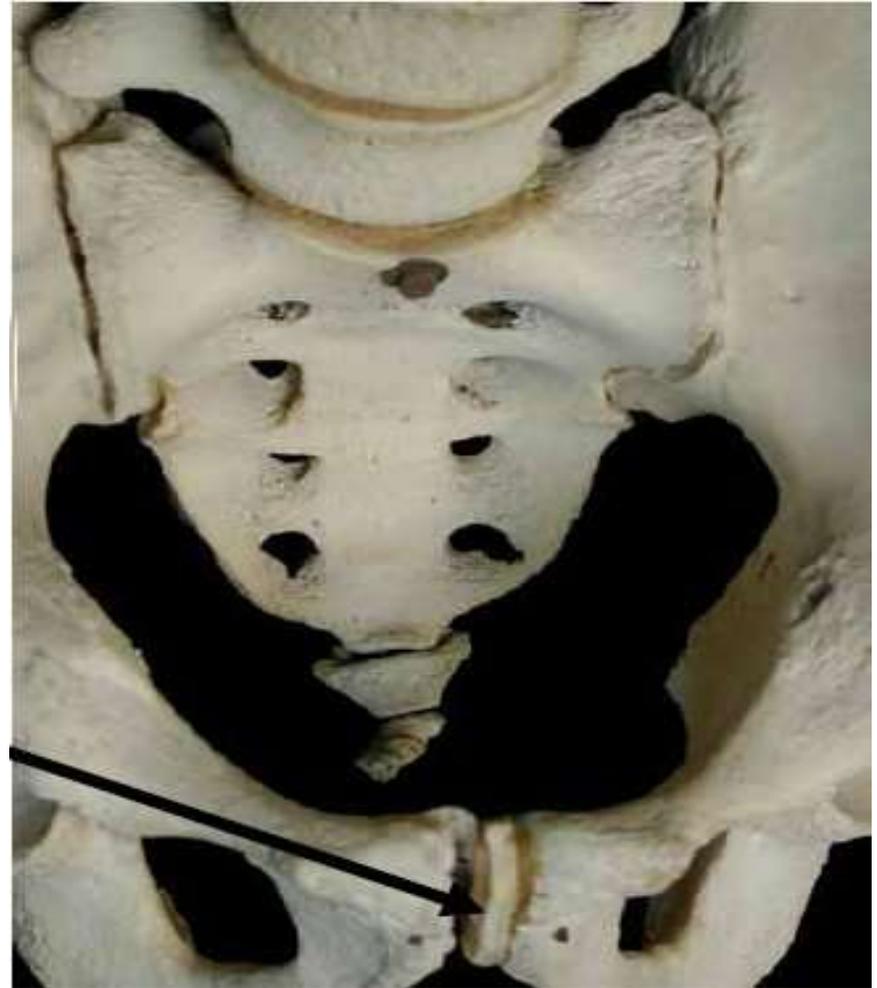
une articulation cartilagineuse immobile, ou symphyse. (c) Les corps de deux vertèbres et le disque fibrocartilagineux qui les sépare forment une symphyse.

- Secondaire, composée de fibrocartilage et qui permet peu de mouvements (articulations semi-mobiles). (Ex : symphyse pubienne, disque intervertébral)

fibrocartilage = force et flexibilité,  
compressible



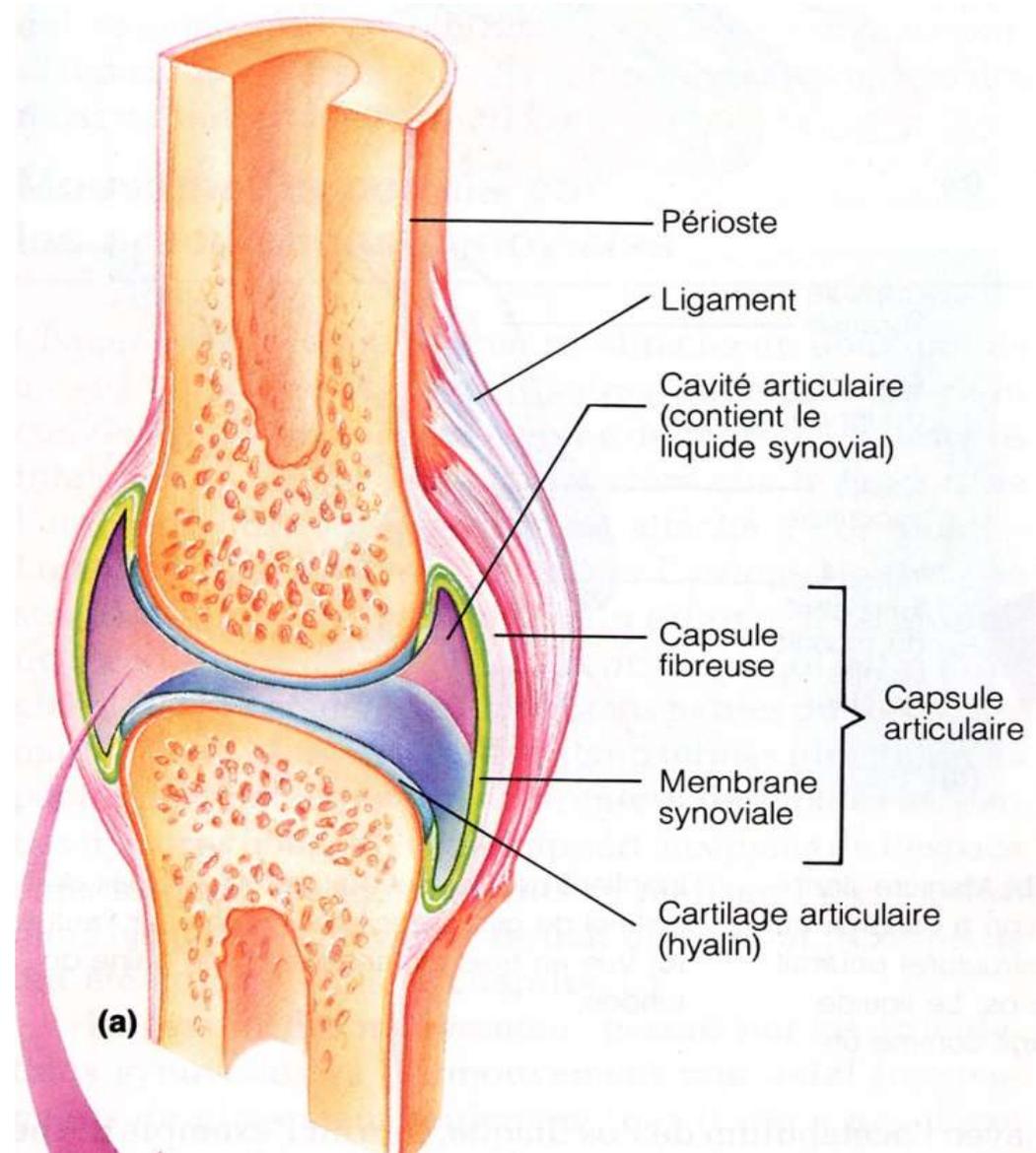
Symphyse pubienne

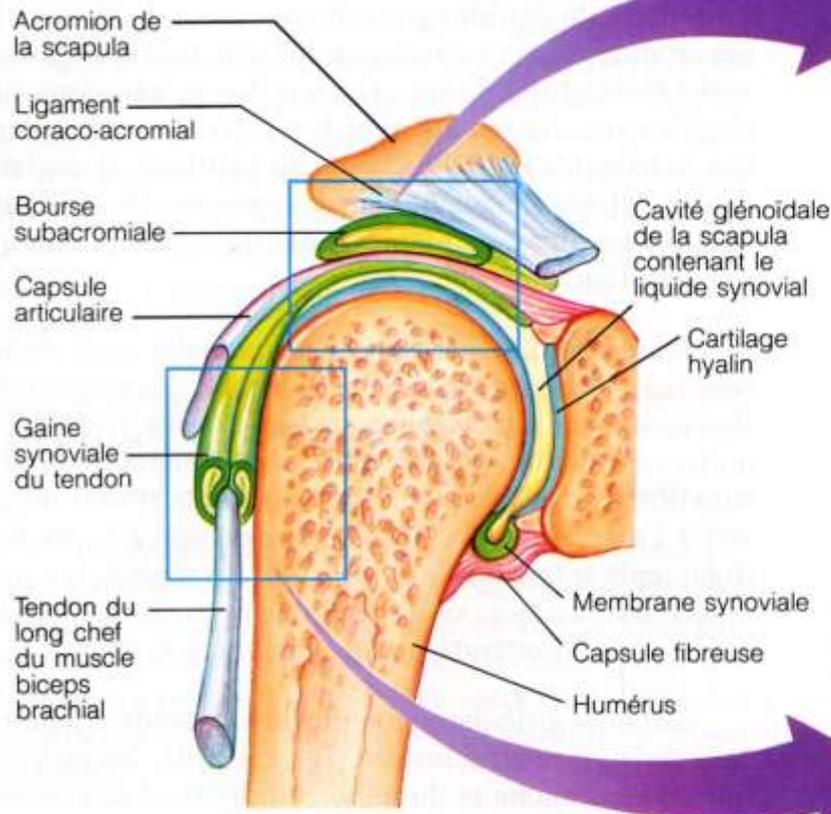


## 5) L'articulation synoviale, ou diarthrose

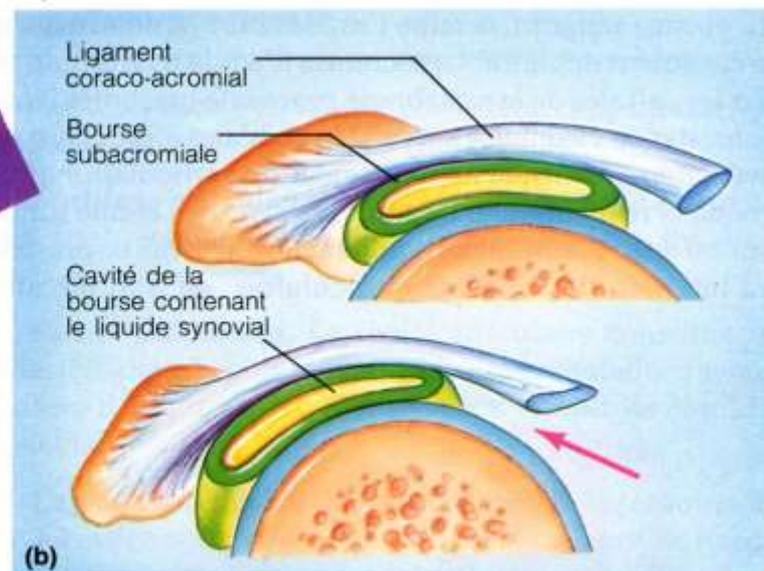
**articulation mobile** maintenue solidement par des ligaments.

- capsule articulaire qui détermine une cavité articulaire.
- extrémités osseuses en contact recouvertes d'un cartilage hyalin articulaire pour éviter l'usure
- Les mouvements sont facilités par la présence d'une substance visqueuse et lubrifiante, appelée synovie, produite par la membrane synoviale qui tapisse la face interne de la capsule articulaire
- En plus : disque, ménisque, bourses= et gaine de tendon

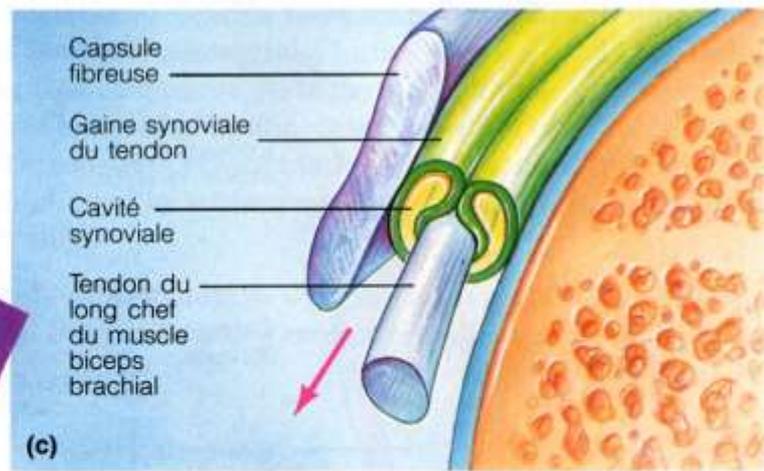




(a)



(b)

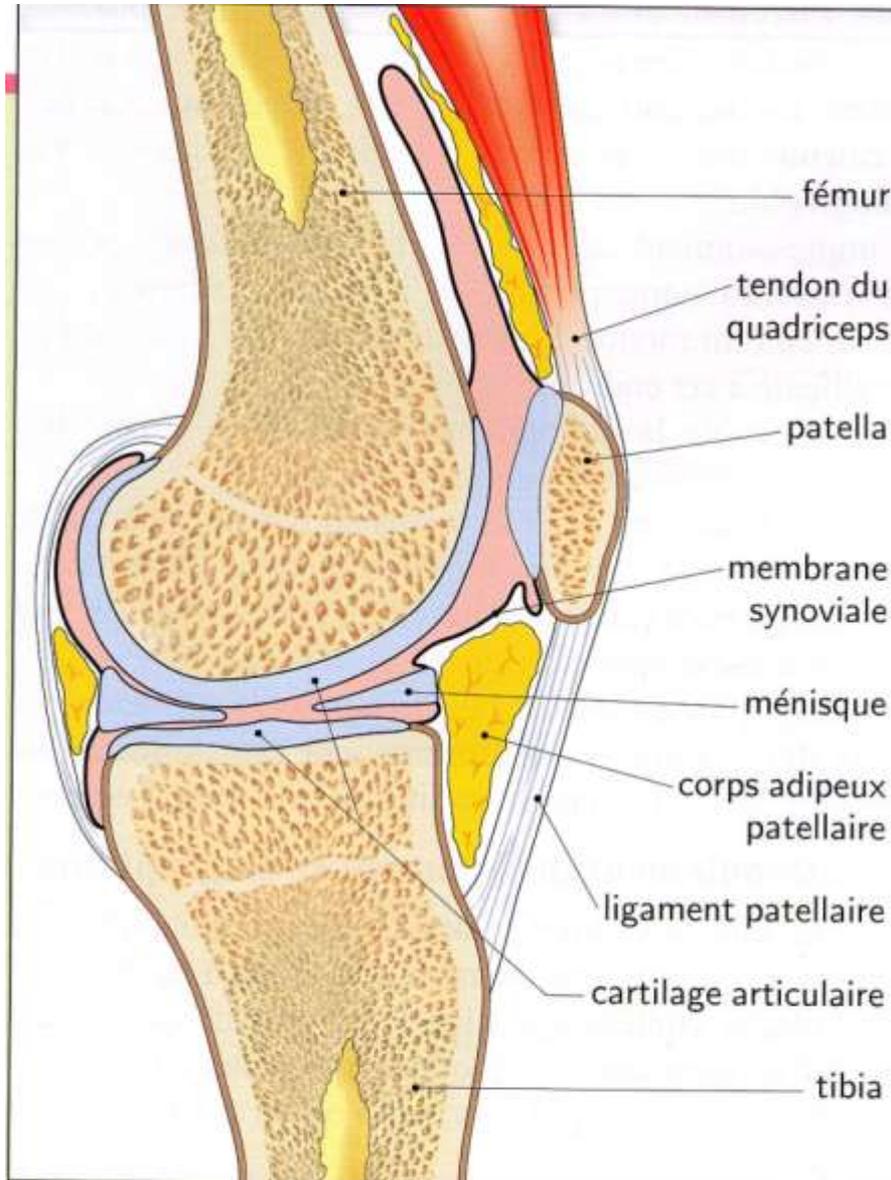


(c)

**Figure 8.4 Structures qui réduisent les frottements : bourses et gaines de tendons.** (a) Coupe longitudinale de l'articulation synoviale de l'épaule montrant la bourse en forme de sac et la gaine de tendon autour

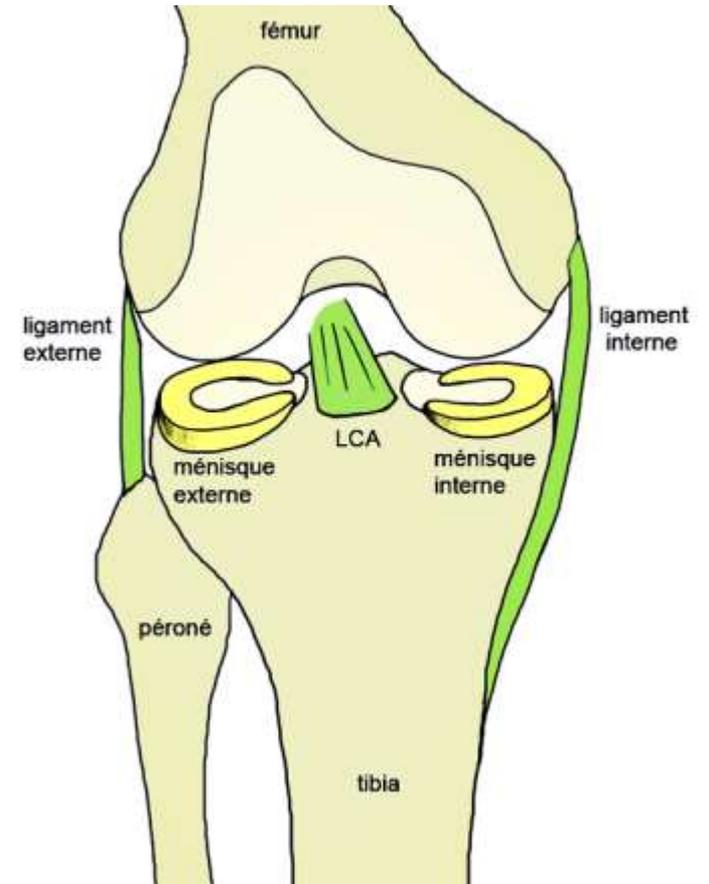
du tendon d'un muscle. (b) Manière dont une bourse élimine la friction à l'endroit où un tendon (ou une autre structure) pourrait frotter sur l'épiphyse d'un os. Le liquide synovial dans la bourse agit comme un

lubrifiant qui permet aux parois internes de celle-ci de glisser facilement l'une sur l'autre. (c) Vue en trois dimensions d'une gaine de tendon.



**Figure 13.** L'articulation du genou.

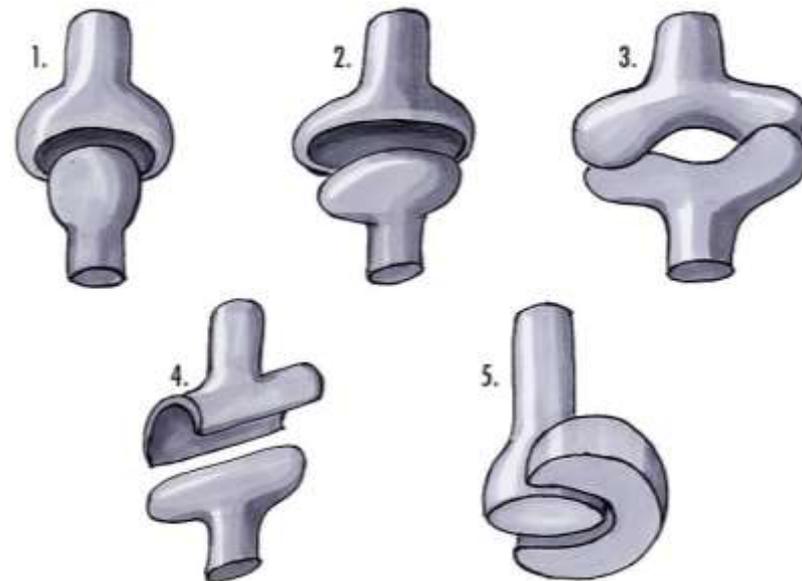
## ménisque





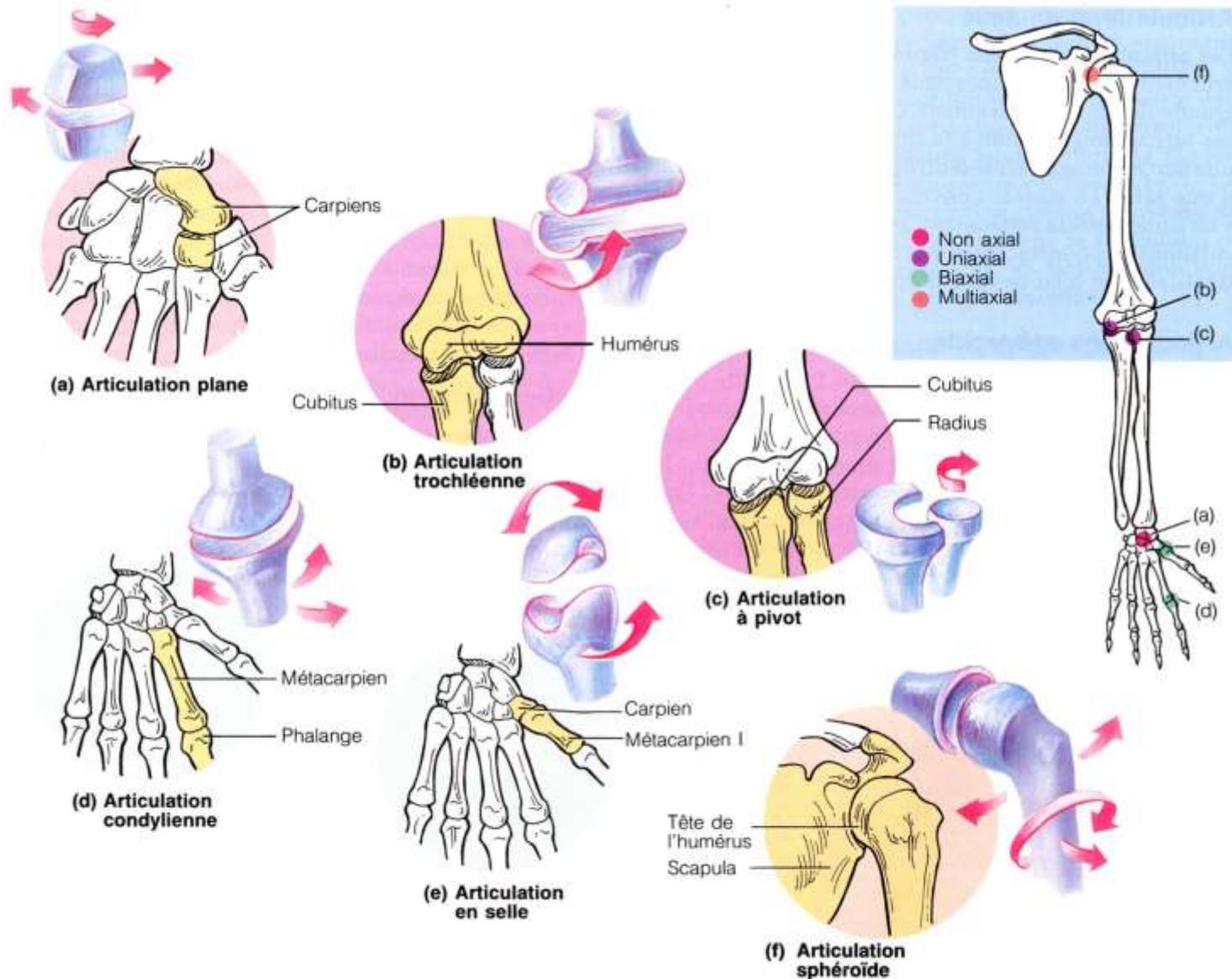
## Classification des diarthroses (voir UE anatomie)

- Dans une arthroïdie, ou articulation *plane*, les surfaces articulaires sont planes et l'articulation possède trois degrés de liberté, mais peu de mobilité (exemple : os du carpe).
- Dans une **énarthrose**, ou articulation *sphéroïde*, une tête s'oppose à une cavité sphérique, l'articulation possède trois degrés de liberté (exemple : articulation scapulo-humérale ou coxo-fémorale).
- Dans une **condylarthrose**, un condyle s'oppose à une cavité glénoïdale, c'est le cas de l'articulation radio-carpienne.
- Dans une **articulation trochoïde**, un axe s'oppose à une fosse (seule la rotation est possible).
- Dans un **ginglyme**, ou une articulation *trochléenne*, une trochlée s'oppose à une cochlée et les mouvements sont de type flexion-extension, comme pour le coude par exemple.
- Dans une articulation à *emboîtement réciproque* ou **articulation en selle**, une surface est convexe dans un sens et l'autre surface est concave également, mais dans le sens perpendiculaire, seuls les mouvements d'opposition sont permis (c'est le cas du pouce dans l'articulation trapézo-métacarpienne).



Diarthroses :

1. énarthrose
2. condylarthrose
3. articulation en selle
4. ginglyme
5. articulation trochoïde



**Figure 8.8 Types d'articulations synoviales.** Les os correspondant aux renvois sont en jaune doré; les autres os sont laissés en blanc. (a) Articulatio planar (ex., articulations médio-carpiennes et médio-tarsiennes).

(b) Articulatio trochlear (ex., articulations du coude et articulations interphalangiennes). (c) Articulatio à pivot (ex., articulation radio-cubitale supérieure). (d) Articulatio condylienne (ex., articulations métacarpo-phalangiennes).

(e) Articulatio en selle (ex., articulation carpo-métacarpienne du pouce). (f) Articulatio sphéroïde (ex., articulation scapulo-humérale).

## Mouvements :

- Glissement
- Angulaires

Flexion, extension, abduction (écarte membre), adduction (rapproche membre) circumduction (cône)

- Rotation (tête)
- Mouvements spéciaux : supination pronation avant-bras), Inversion et éversion (pied), protraction et rétraction (mandibules, épaules), opposition (pouce), élévation et abaissement (scapula, mandibule)

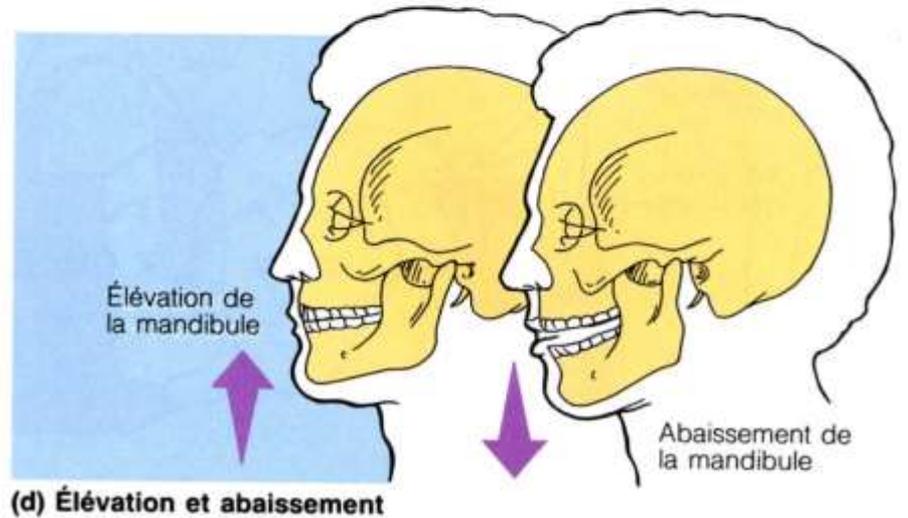
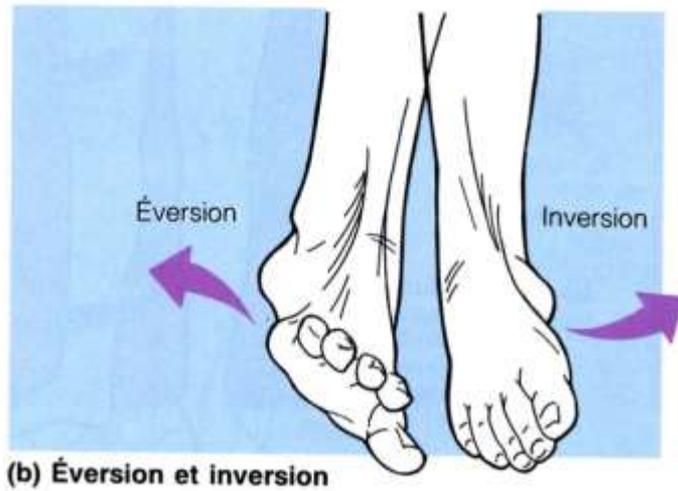
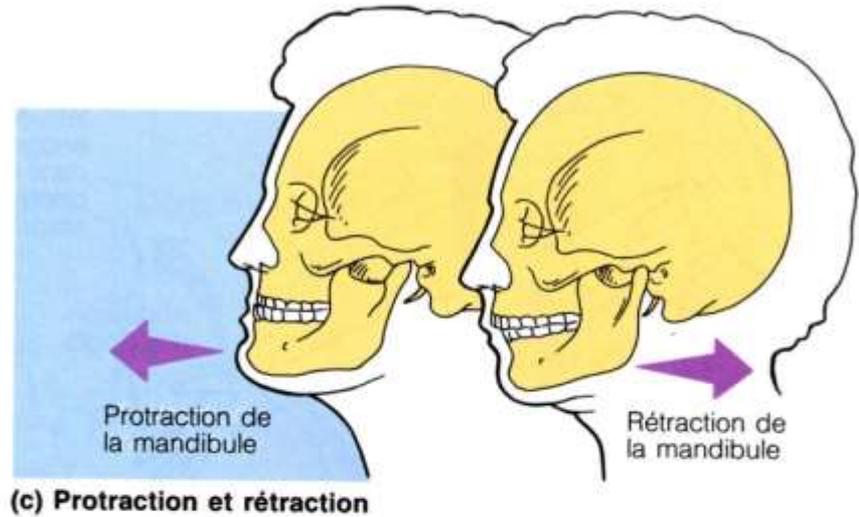
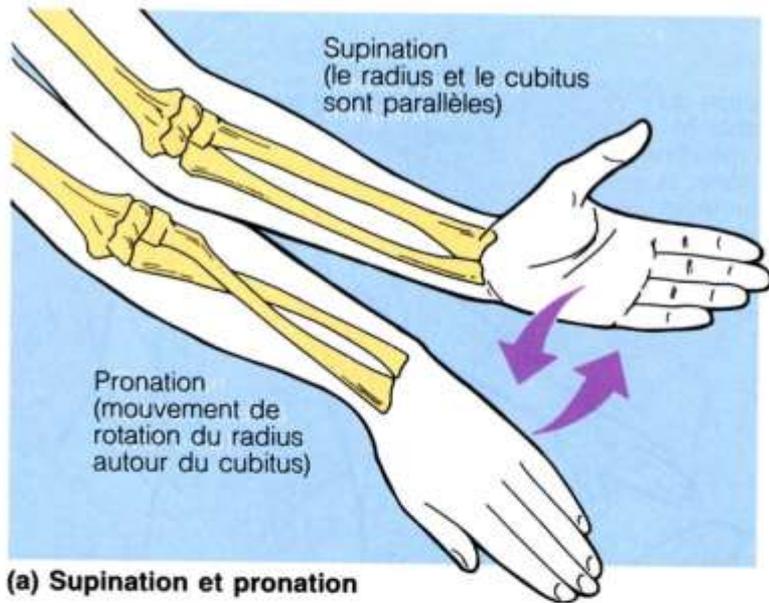
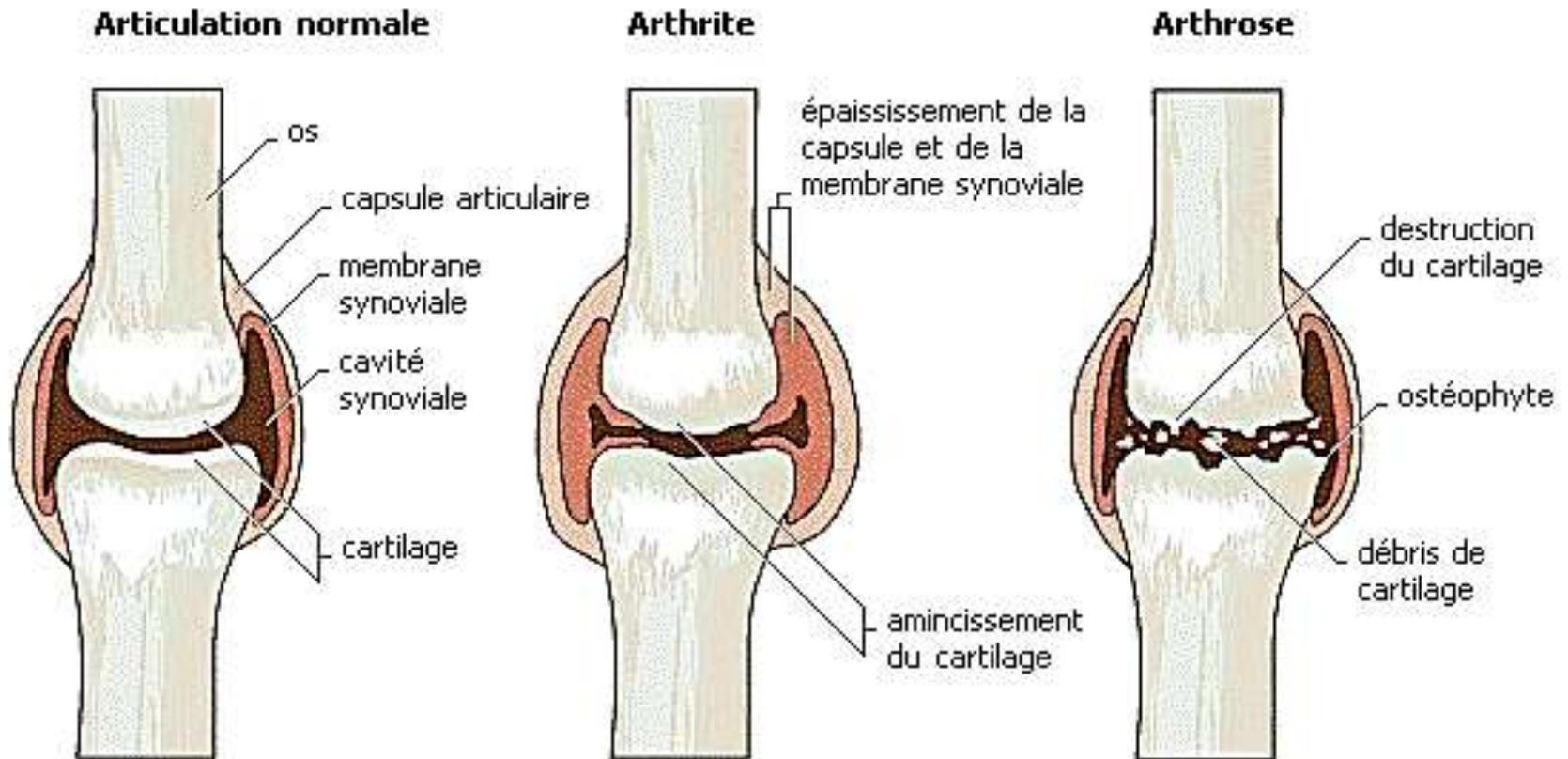
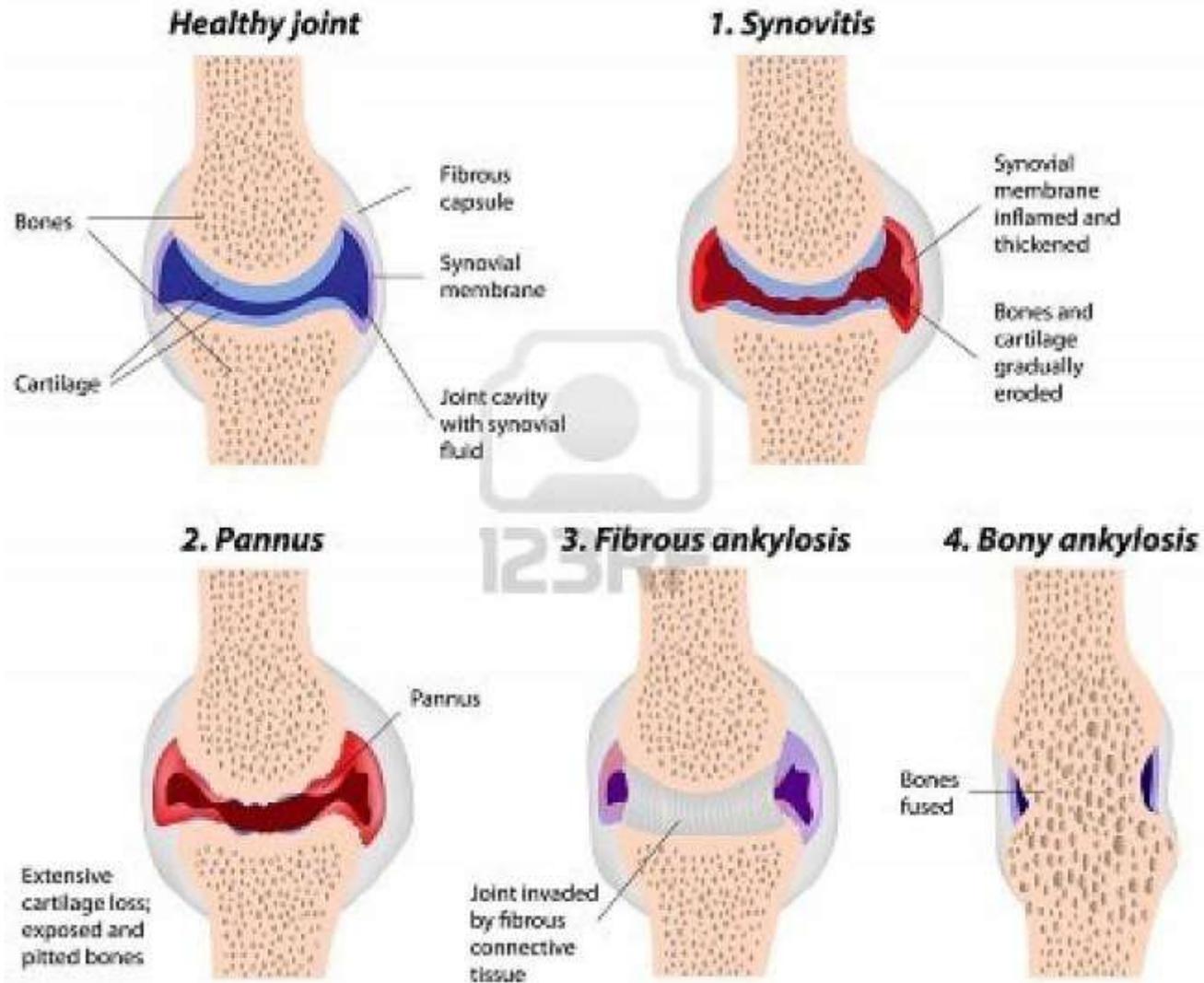


Figure 8.7 Mouvements spéciaux du corps.

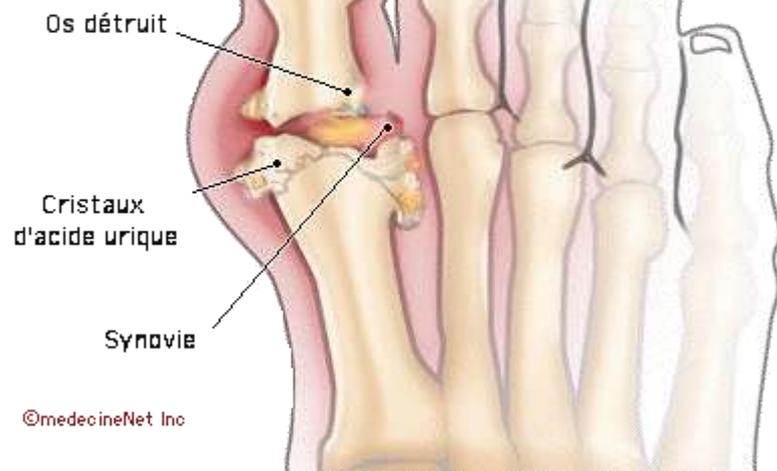
## 6) Pathologies articulaires



# Stages of Rheumatoid Arthritis



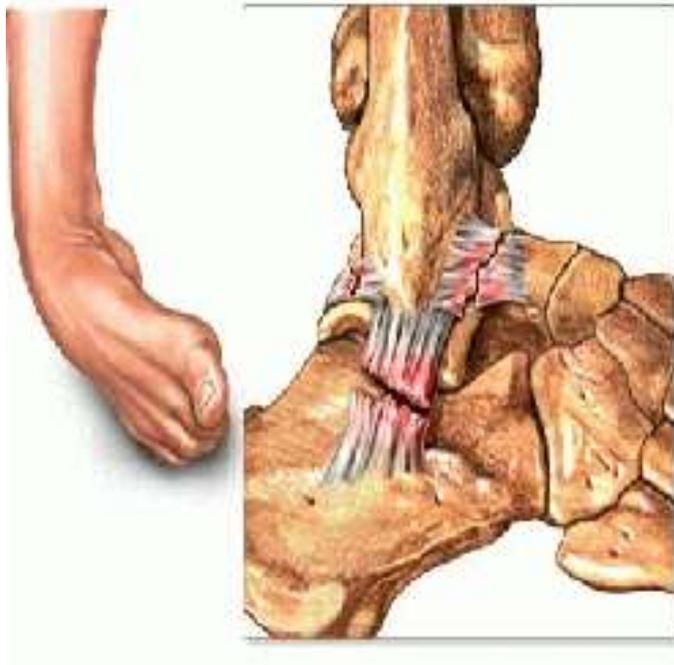
## **La Goutte**



# Prothèse genou arthrose



Luxation : perte totale de contact des surfaces articulaires d'une articulation

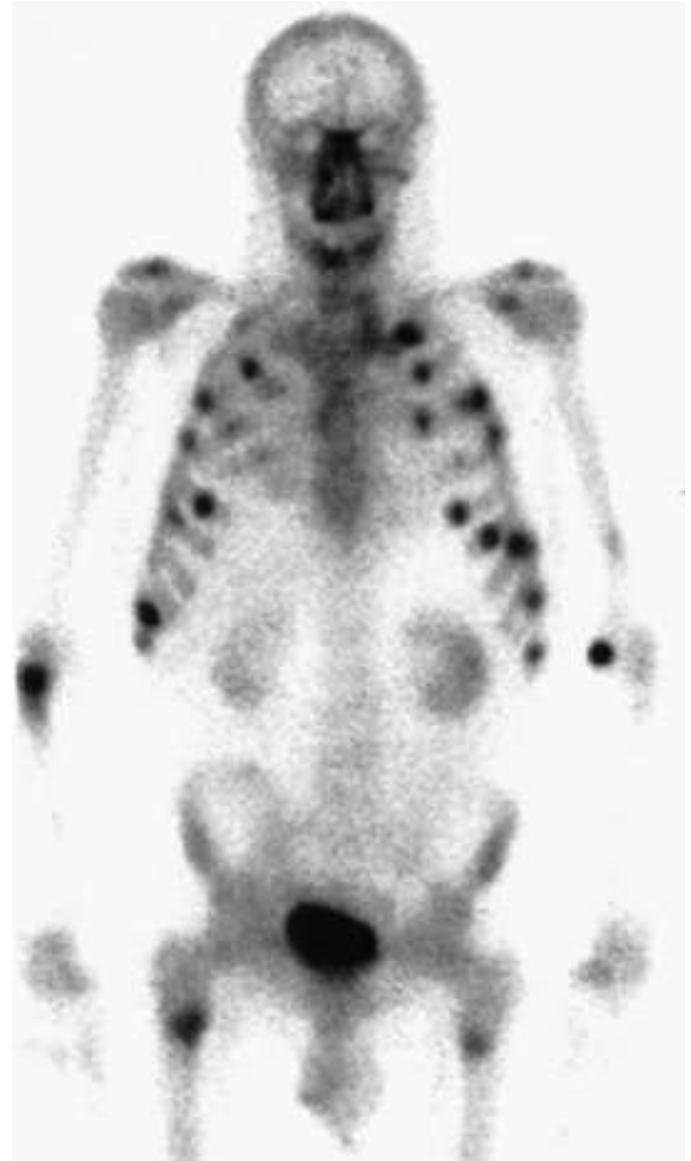


Entorse : traumatisme des ligaments

# Complément

- Scintigraphie

Multiplés métastases osseuses



<http://www.allodocteurs.fr/actualite-sante-don-de-tissus-osseux-pensez-y--9829.asp?1=1>