

# Ostéogénèse



## Introduction <3

L'ostéogénèse se définit par l'ensemble des phénomènes conduisant à la **formation des os**.

Il existe deux types d'ossification :

L'ossification **primaire** au cours de laquelle le tissu osseux remplace un **autre tissu**.

Elle assure la construction osseuse **initiale** et **participe** avec l'ossification secondaire à la **croissance osseuse+++++**

L'ossification **secondaire** au cours de laquelle le tissu osseux remplace **le tissu osseux**.

L'ossification secondaire assure quant à elle le **remodelage osseux**.

Ossification primaire	Ossification secondaire
Le tissu osseux remplace un <b>AUTRE</b> tissu	Le tissu osseux remplace le <b>TISSU OSSEUX</b>
<b>Construction</b> initiale osseuse	<b>Remodelage</b> osseux

### Croissance osseuse

La construction osseuse initiale se déroule chez l'**embryon**, le **foetus** et l'**enfant** pour aboutir à la formation d'os **primaire+++**

Pour chaque os, l'ossification primaire débute à un âge précis, génétiquement programmé. Par exemple, la formation de l'épiphyse tibiale vers l'âge de 2 ans, formation de la tubérosité antérieure du tibia vers l'âge de 12/13 ans.

Une fois cette construction osseuse **initiale terminée**, il manque à la pièce osseuse : sa **taille**, sa **forme** et sa **structure définitive**. Elle va croître dans toutes les directions et se remodeler.

La croissance osseuse **débute** chez le foetus et se poursuit chez l'enfant et l'adolescent. Elle est assurée par l'action **conjointe** des ossifications **primaires** et **secondaires**.

La formation d'os primaire se poursuit et s'accompagne d'une ossification secondaire **rapide au sein de l'os primaire**.

### Le remodelage osseux

Le **remodelage osseux** est assuré par l'**ossification secondaire** et débute en **même temps+++** que la **croissance osseuse**. Il se poursuit durant toute la vie pour modeler le tissu osseux et ainsi maintenir ses propriétés et ses fonctions.

Le tissu osseux est donc un tissu **dynamique** en **remodelage permanent+++**

Lors de la croissance, les deux types d'ossification ont lieu simultanément dans des lieux différents.

Chez le nourrisson et l'enfant : Ce remodelage est **très rapide** et s'adapte aux besoins (ex : l'acquisition de la marche).

Chez l'adulte : Ce remodelage est **lent** mais peut s'accélérer dans certaines conditions physiologiques (activité physique) ou pathologiques (réparation d'une fracture osseuse).

Lors de la **croissance** :

- Les **deux types d'ossifications ont lieu simultanément dans des sites différentes+++**
- Les deux types d'ossifications ont lieu sur le **même site l'un après l'autre+++**

*En gros si vous avez un potager, vous pouvez creuser puis mettre une plante, recouvrir de terre et le tour est joué (et ça sur deux sites différents). Par contre sur un seul site c'est plus compliqué, il faut d'abord creuser pour pouvoir planter.*

*Ici c'est pareil, les deux ossifications peuvent avoir lieu en même temps : construction + remodelage sur **deux sites différents**. Sur un **même site**, il faudra impérativement passer par la construction avant le remodelage sinon pas de croissance osseuse :)*

### L'ossification primaire

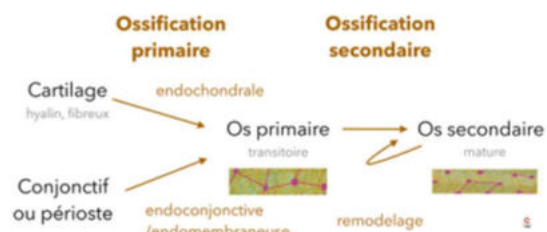
Au cours de l'ossification **primaire**, le tissu osseux remplace un **autre type de tissu+++**

L'ossification primaire débute durant la vie embryonnaire ou fœtale et se poursuit **après** la naissance.

Elle se déroule en présence de contraintes mécaniques **faibles**.

Le tissu osseux remplace du **tissu conjonctif** et du **cartilage**.

- ♥ **Ossification endoconjonctive** : Le tissu osseux remplace du **tissu conjonctif**. On aura aussi respectivement l'ossification de **membrane** et l'ossification **périostique** qui assurent toutes les deux la formation des **os plats du crâne**.



## Meyose

- ♥ **Ossification endochondrale** : Le tissu osseux remplace du **cartilage**. Les ossifications **endochondrale** et **périostique** assurent la formation des os longs, des os courts (vertèbres, os du carpe, du tarse, côtes) ainsi que les autres os plats (sternum, omoplates et os iliaques).

Le tissu osseux primaire sera ensuite **remplacé** par du tissu osseux secondaire au cours de l'ossification secondaire.

### Formation et croissance des os longs <3

La formation des os longs se fait en 2 étapes consécutives : la formation d'une **maquette cartilagineuse** puis l'ossification.

#### Formation de la maquette cartilagineuse

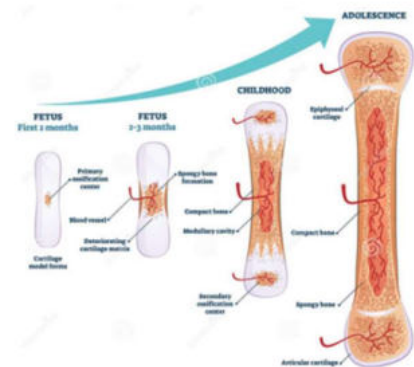
Une maquette cartilagineuse recouverte de périchondre se forme au sein du **mésenchyme embryonnaire**. Cette maquette, formée de cartilage **hyalin** et constitue l'ébauche du futur os long : elle a grossièrement la forme de la pièce osseuse définitive.

Elle va croître selon deux mécanismes : via la croissance **interstitielle** et via croissance par **apposition**.

#### Ossification

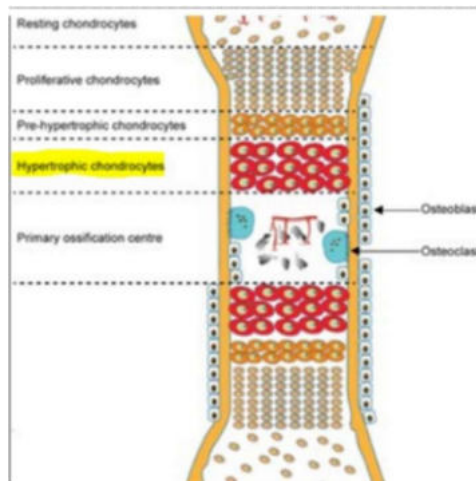
L'ossification **primaire** est déclenchée par la **pénétration de vaisseaux sanguins** dans le cartilage définissant 3 centres d'ossifications :

- Le centre d'ossification **diaphysaire** qui apparaît **avant** la naissance
- Les deux centres d'ossifications **épiphysaires supérieurs et inférieurs** qui apparaissent **après** la naissance



Au niveau **diaphysaire**, l'ossification se fait selon deux mécanismes :

- L'ossification endochondrale qui permet une croissance en **longueur**.
- L'ossification périostique qui permet une croissance en **épaisseur**.



A partir du **périchondre**, un **bourgeon conjonctivo-vasculaire (BCV)** pénètre dans le cartilage jusqu'au centre de la **diaphyse**.

Ce bourgeon induit une augmentation de la concentration en **oxygène** et provoque une **hypertrophie** du cartilage.

Le cartilage **hypertrophique** est le **chef d'orchestre de l'ossification endochondrale** : il est caractérisé par la présence de volumineux chondrocytes dont les noyaux deviennent **pycnotiques**.

### ♥ Ossification **endochondrale**

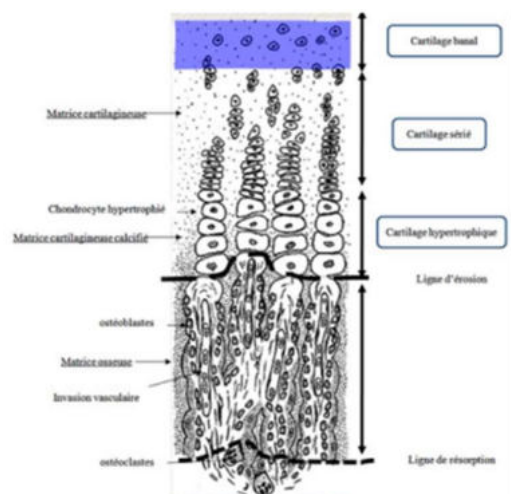
A **l'opposé** du bourgeon conjonctivo-vasculaire, le cartilage hypertrophique induit la **prolifération** des chondrocytes qui forment des groupes isogéniques axiaux orientés selon le grand axe de l'os en formation : c'est le **cartilage sérié+++**

Du **côté** du BCV, le cartilage hypertrophique induit la **minéralisation** de la MEC, c'est le **cartilage calcifié+++** dont les chondrocytes meurent.

On rappelle que le bourgeon conjonctivo-vasculaire amène avec lui des cellules souches **hématopoïétiques**, des **cellules souches ostéoprogénitrices** et des **précurseurs ostéocalciques**.

Au **contact du bourgeon**, les ostéoclastes **détruisent le cartilage calcifié** en effondrant les fines cloisons transversales qui séparent les chondrocytes d'un même groupe isogénique.

Ceci constitue le **front d'érosion+++**



Il persiste toutefois des travées parallèles longitudinales de cartilages calcifiés, les **travées directrices** qui serviront de **support pour l'ossification endochondrale**. Les vaisseaux et les cellules ostéoprogénitrices s'engouffrent dans les tunnels **creusés** par les **ostéoclastes**, ce qui constitue le **front vasculaire+++**

Les **ostéoblastes** provenant de la division des cellules ostéoprogénitrices s'organisent en **bordure épithélioïde** le long des travées directrices et déposent la matrice osseuse = c'est le **tissu osseux primaire endochondrale**.

## Méiose

Cette région comporte donc **transitoirement** des cloisons osseuses possédant un axe de cartilage **calcifié** : la travée directrice ayant échappé à l'ossification primaire.

Cette structure est rapidement **détruite** par les **ostéoclastes** et l'ossification secondaire débute.

Rappel : +++

L'ossification **endochondrale** assure la croissance en **longueur** des diaphyses des os longs (car il remplace le **cartilage** #rappel)

**L'érosion** du cartilage s'arrête lorsque les zones d'ossification atteignent les **métaphyses**, laissant **subsister des cartilages de conjugaison** qui participeront à la croissance des os jusqu'à la puberté.

Cette croissance est donc le résultat d'un **équilibre** entre d'un côté la prolifération du cartilage et de l'autre l'ossification.

**Après** la puberté, cet équilibre est rompu au profit de l'ossification : les cartilages de croissance **disparaissent** par ossification complète et la croissance s'arrête.

Tableau récap : +++

1	Pénétration d'un bourgeon conjonctivo-vasculaire à partir du péri-chondre → <b>Cartilage hypertrophique</b>
2	A l'opposé du bourgeon : prolifération des chondrocytes → <b>Cartilage sérié</b>
3	Du côté du bourgeon : minéralisation de la MEC par le cartilage hypertrophique → <b>Cartilage calcifié</b>
4	Le bourgeon amène ostéoclastes → destruction du cartilage calcifié → Travées directrices de <b>cartilage calcifié subsistent</b>
5	Vaisseaux + cellules ostéoprogénitrices pénètrent dans les tunnels creusés → front vasculaire + différenciation des ostéoclastes → <b>bordure épithélioïde</b>
6	Les ostéoclastes détruisent les travées directrices restantes → <b>ossification 2ndaire</b>

## Méiose

### ♥ Ossification **périostique**

La pénétration du bourgeon conjonctivo-vasculaire dans le cartilage et l'influence du cartilage hypertrophique provoque la différenciation du périchondre en périoste dans la partie **moyenne** de la **diaphyse**.

Les **ostéoclastes** élaborent le tissu osseux primaire assurant la croissance osseuse par apposition successives de lamelles osseuses.

Il se forme ainsi une **gaine osseuse** appelée **virole périostique** qui s'étend progressivement en direction des **épiphyes** pour former la **corticale** osseuse. Les appositions successives de lamelles osseuses permettent la croissance en **épaisseur** des diaphyses des os longs.

Au niveau des **épiphyes** :

**Après** la naissance, tandis que le centre d'ossification diaphysaire s'étend vers les métaphyses, la pénétration de BCV dans les épiphyses provoquent l'apparition des **centres d'ossification épiphysaires**.

Les mécanismes d'ossification sont comparables à ceux décrits pour l'ossification diaphysaire : pénétration d'un bourgeon conjonctivo-vasculaire qui conduit à une ossification **périostique** et à une ossification **endochondrale**.

**L'intégralité** du cartilage **épiphysaire** est donc remplacé par du tissu osseux primaire à l'exception du **cartilage articulaire** et du **cartilage de conjugaison++++++**

Notons que les **centres d'ossifications** apparaissent pour chaque os à un **âge précis**, génétiquement programmé. Il en est de même pour la **disparition** des cartilages de croissance.

Il est donc possible de déterminer avec une relative précision par un examen radiologique, un **âge osseux** qui ne coïncide pas obligatoirement avec l'âge réel en cas de **retard de croissance**.

### Formation et croissance des os du crâne <3

La formation et la croissance des os du crâne se font par ossification de **membrane** (ossification **interne**) et ossification **périostique** (ossification **externe**).

L'ossification de membrane se fait en **deux phases** : une phase de **pré-ossification** suivie d'une phase d'**ossification**.

Lors de la phase de **pré-ossification**, une ébauche conjonctive se forme au sein du **mésenchyme embryonnaire** (chez le fœtus), cette ébauche est appelée **voûte membraneuse du crâne+++**

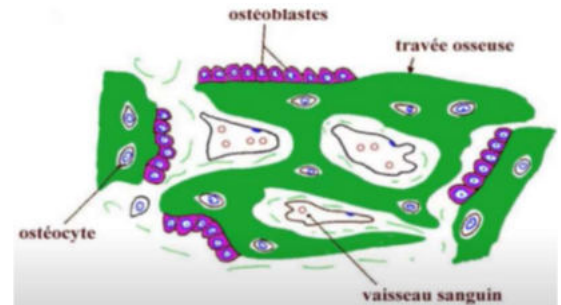
## Méiose

La phase **d'ossification** débute avec la **pénétration de vaisseaux sanguins** au sein de l'ébauche conjonctive.

**Autour** des vaisseaux, des cellules mésenchymateuses prolifèrent et se différencient en **ostéoblastes** créant ainsi des centres d'ossification primaires formés de **tissu osseux réticulaire**.

Entre les travées du tissu osseux primaire, les espaces conjonctifs sont envahis par des vaisseaux, des cellules souches hématopoïétiques et mésenchymateuses.

Les cellules mésenchymateuses sont à l'origine de nouveaux ostéoblastes créant une **croissance centrifuge** des centres d'ossification primaires que l'on nomme **plaque osseuse**.



**L'ossification périostique** est une **ossification de surface**.

Peu avant la naissance, le **mésenchyme** au contact des faces supérieures et inférieures des plaques se **différencie** en **périoste** qui élaborent l'os dense des tables internes et externes ce qui constitue l'ossification primaire périostique.

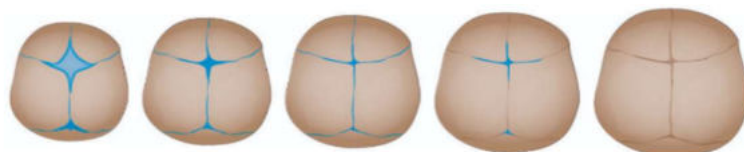
Il y a donc croissance en **épaisseur** par apposition successive de lamelles osseuses.

Entre les plaques, il existe des espaces conjonctifs dénommés **sutures** qui convergent vers des espaces triangulaires : les **fontanelles**.

Il existe deux principales fontanelles :

<b>Fontanelle postérieure</b>	Petite fontanelle ou fontanelle <b>lambdoïde</b>	Se ferme <b>trois mois</b> après la naissance
<b>Fontanelle antérieure</b>	Grande fontanelle ou fontanelle <b>bregmatique</b>	Se ferme vers <b>2 ans</b>

Les sutures restent longtemps ouvertes permettant la croissance en **volume** de la boîte crânienne.



### L'ossification secondaire

Au cours de l'ossification **secondaire**, le tissu osseux remplace un **tissu osseux\*\*\*\***

Elle se produit au **sein du tissu osseux primaire** contribuant ainsi à la **croissance osseuse**, puis au sein du **tissu osseux secondaire** assurant ainsi le **remodelage osseux** indispensable au maintien des propriétés et des fonctions du tissu osseux.

On rappelle que le tissu osseux est une structure **dynamique** en perpétuel remaniement : la croissance et le remodelage osseux impliquent tous deux la destruction du tissu osseux existant par les **ostéoclastes**, il existe donc un véritable **couplage** entre **ostéoclastes** et **ostéoblastes**.

Dans le tissu osseux **haversien**, à partir d'un canal de **Volkman**, les ostéoclastes **détruisent le tissu osseux existant** accompagnés d'un bourgeon conjonctivo-vasculaire qui s'enfonce dans le tissu osseux pour former un **tunnel de résorption** dont le grand axe est parallèle aux lignes de force et dont les dimensions sont celles du futur ostéon.

Les ostéoblastes qui bordent les parois du tunnel élaborent des lamelles osseuses concentriques qui se superposent de la périphérie vers le centre laissant une cavité conjonctivo vasculaire central : le canal de **Havers**.

Lorsque le processus est achevé un nouvel ostéone est formé, les reliquats des ostéones adjacents partiellement détruits constituent **les systèmes intermédiaires**.

Dans le tissu osseux **trabéculaire**, le principe est comparable mais concerne des régions isolées des travées osseuses. La reconstruction se fait à partir des régions provisoirement épargnées.

### Le remodelage osseux

Le tissu osseux **lamellaire** se renouvelle **en permanence+++** grâce au remodelage osseux, il est donc **indispensable** pour que le tissu osseux conserve ses propriétés et ses fonctions.

Il résulte d'un **équilibre** entre construction **ostéoblastique** et destruction **ostéoclastique** et est régulé par des facteurs **hormonaux** et des facteurs **mécaniques**.

En effet, le tissu osseux s'adapte aux contraintes mécaniques ce qui permet de conserver ses fonctions de soutien, fonction mécanique et fonction de protection.

- ♥ **Facteurs mécaniques** : Les **ostéocytes** agissent comme des **mécanorécepteurs**. Ils perçoivent les variations de contraintes s'exerçant sur le tissu osseux, transmettent l'information, et on aura alors 2 réponses possible : une **synthèse de matrice** par les **ostéoblastes** ou sa **résorption** par les **ostéoclastes** pour préserver les fonctions mécanique, protectrice et de soutien.

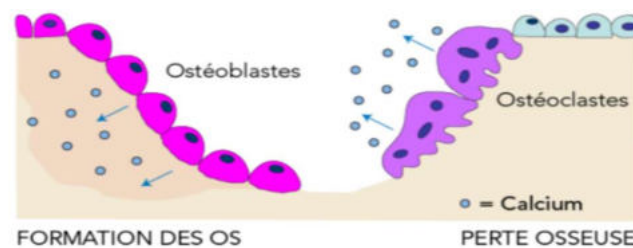


## Meyose

♥ **Facteurs hormonaux** : représentés par 2 principales hormones, la **parathormone** et la **calcitonine**. Ces 2 hormones participent au **maintien de l'homéostasie phosphocalcique**.

Parathormone	Calcitonine
Sécrétées par les <b>parathyroïdes</b>	Sécrétée par les <b>cellules C de la thyroïde</b>
En réponse à une <b>baisse</b> de glycémie	En réponse à une <b>hausse</b> de glycémie
<b>HYPER</b> calcémiante	<b>HYPO</b> calcémiante
Active <b>indirectement</b> les ostéoclastes via les ostéoblastes (on veut que le calcium sorte pour remonter la calcémie)	Inhibe <b>directement</b> les ostéoclastes (on ne veut pas que le calcium sorte)

On parle d'hormone hyper ou hypocalcémiante par rapport à la concentration sanguine de calcium.



Récap : +++

**Hypercalcémiante** : calcium des os vers le sang

**Hypocalcémiante** : calcium du sang vers les os

Ces deux hormones participent donc au maintien de l'homéostasie phosphocalcique.

*Dédi à mon professeur de renforcement muscu et tuteur de stage, j'espère devenir un aussi bon kiné*

*Dédi à Léo, Max et Nolhan mes copains d'amour*

*Dédi à Maëliiss ma super copine aka le crack en repérage palpatoire, je peux plus me passer de toi*

*Dédi à Pauline votre tut pharmaco qui me prête sa tente depuis 2 mois*

*Dédi Emma qui es toujours là quand on a besoin, je t'aime trop*

*Dédi à Jp, Houcine et Yacine je vous adore*

*Dédi à Adel car si tu existais pas il faudrait t'inventer*

*Dédi aux p1 qui veulent être tuteurs, surtout d'histologie <33 (hein Gabriel !!!)*