

# Ostéogénèse

HUGUETTE



Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.

## L'ostéogenèse, kezako?

L'ostéogenèse définit 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**.

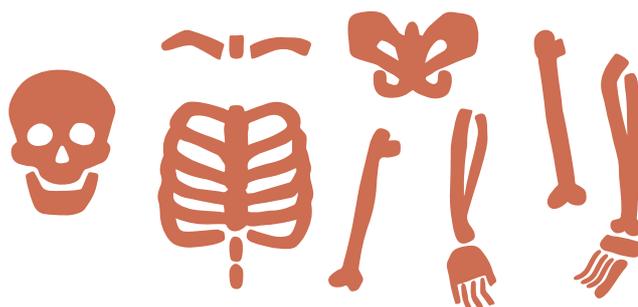
La construction osseuse initiale se déroule chez l'embryon, le fœtus mais aussi chez l'enfant pour aboutir à la formation d'os **primaire**.

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.

Au terme de cette construction osseuse **initiale**, la pièce osseuse n'a **ni** sa taille, **ni** sa forme, **ni** sa structure **définitive**. Elle va croître dans toutes les directions et se remodeler.

La croissance osseuse débute chez le fœtus 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** est assuré par l'ossification **secondaire**, il débute ainsi en **même** temps que la croissance osseuse et 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**.

Ce remodelage est **très rapide** chez le nourrisson et l'enfant afin de s'adapter aux besoins comme par exemple l'acquisition de la marche.

A l'inverse, ce remodelage est lent chez l'adulte mais peut s'accélérer dans certaines conditions physiologiques (activité physique) ou pathologiques (réparation d'une fracture osseuse).

**Il est important de comprendre que lors de la croissance, les deux types d'ossifications ont lieu simultanément dans des sites différents.+++ Les deux types d'ossifications ont lieu sur le même site l'un après l'autre.**

## L'ossification primaire

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

Elle débute durant la vie embryonnaire ou fœtale et se poursuit **après** la naissance.

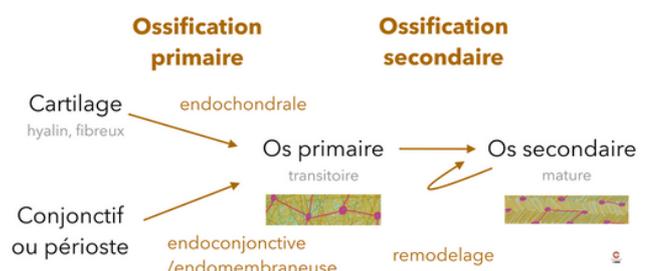
Elle se déroule en présence de contraintes mécaniques **faibles**.

L'os remplace du tissu **conjonctif** ou du **cartilage**.

Lorsque le tissu osseux remplace du tissu **conjonctif**, on parle d'ossification **endoconjonctive** avec respectivement l'ossification de membrane et l'ossification périostique qui assurent toutes deux la formation des os plats du crâne.

Lorsque le tissu osseux remplace du cartilage, on parle d'ossification **endochondrale**.

L'ossification endochondrale et l'ossification 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).



*Les schémas sont là uniquement pour votre bonne compréhension :).*

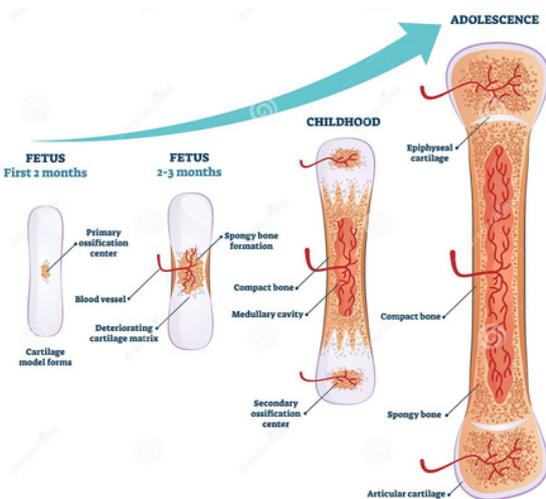
Le tissu osseux primaire sera ensuite remplacé par du tissu osseux secondaire au cours de l'ossification secondaire.

# Formation et croissance des os longs

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

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

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



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

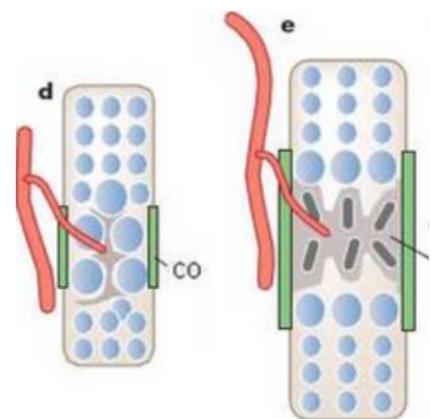
-Le centre d'ossification **diaphysaire** qui apparaît **avant** la naissance

-Les deux centres d'ossifications **épiphysaires** supérieurs et inférieurs qui apparaissent **après** la naissance.

L'ossification **diaphysaire** se fait selon deux mécanismes : premièrement, l'ossification endochondrale qui permet une croissance en **longueur** et deuxièmement l'ossification périostique qui permet une croissance en **épaisseur**.

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

L'augmentation de concentration en oxygène qui en résulte provoque une **hypertrophie** du cartilage.

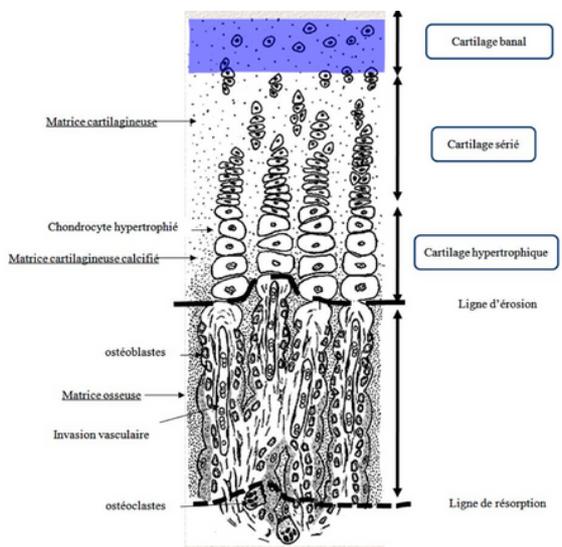
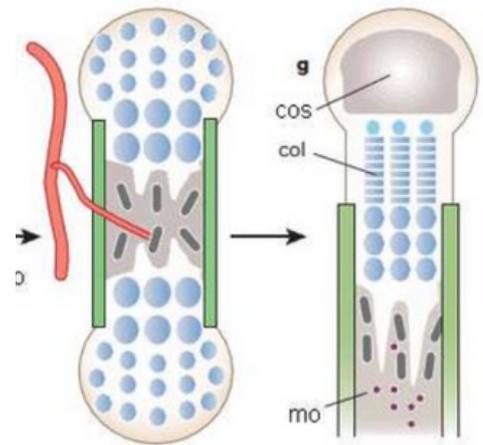


Le cartilage **hypertrophique**, caractérisé par la présence de volumineux chondrocytes dont les noyaux deviennent pycnotiques, est le **chef d'orchestre** de l'ossification endochondrale.

A l'**opposé** du BCV, 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 bourgeon conjonctivo-vasculaire, le cartilage hypertrophique induit la **minéralisation** de la MEC, c'est le cartilage **calcifié** dont les chondrocytes **meurent**.

Avec le bourgeon conjonctivo-vasculaire pénètrent des cellules souches hématopoïétiques, des cellules ostéoprogénitrices, des précurseurs ostéoclastiques.



Au contact du BCV, des **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 cartilage calcifié appelées **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**.

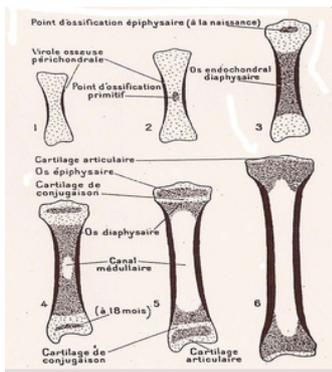
Les ostéoblastes provenant de la division des cellules ostéoprogénitrices s'organisent en **bordure épithélioïde** le long des travées directrices et déposent la matrice ostéoïde. C'est le tissu osseux primaire **endochondrale**.

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.

L'ossification **endochondrale** assure la croissance en **longueur** des diaphyses des os longs.

L'**érosion** du cartilage cesse lorsque les zones d'ossification atteignent les **métaphyses**, laissant subsister des cartilages de conjugaison.



Ces derniers vont participer 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.

Concernant l'ossification **périostique**, suite à la pénétration du BCV dans le cartilage et sous l'influence du cartilage hypertrophique, le périenchondre se différencie en périoste dans la partie **moyenne** de la diaphyse.

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

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

**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 **épiphyse** est donc remplacé par du tissu osseux primaire, à l'**exception** du cartilage articulaire et du cartilage de conjugaison.

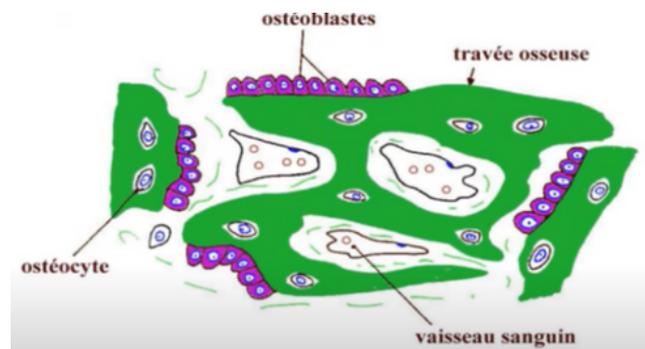
*Notons que les centres d'ossifications apparaissent pour chaque os à un âge précis, génétiquement programmé, il en est de même pour la disparition des cartilages de croissance. Il est donc possible de déterminer avec une relative précision par un examen radiologique, un âge osseux qui ne coïncide pas obligatoirement avec l'âge réel en cas de retard de croissance.*

## Formation et croissance des os du crâne

La formation et la croissance des os du crâne se font par ossification de membrane (ossification **interne**) et ossification périostique (**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, cette ébauche est appelée **voûte membraneuse** du crâne.

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 de tissu osseux primaire, les espaces conjonctifs sont envahis par des vaisseaux, des cellules souches hématopoïétiques et mésenchymateuses à l'origine de nouveaux ostéoblastes. Cela crée une croissance **centrifuge** des centres d'ossification primaires que l'on nomme **plaque osseuse**.

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

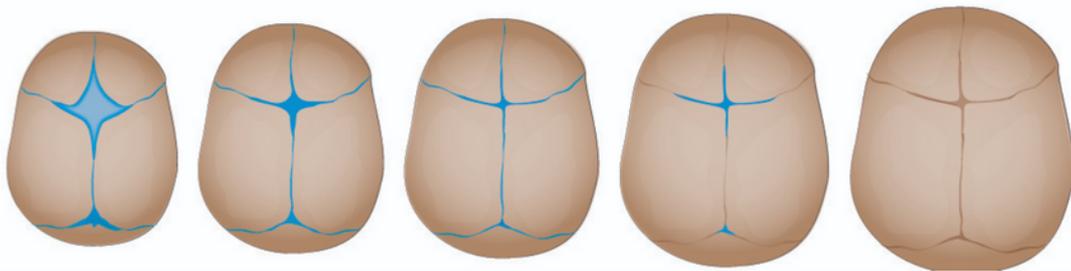
Peu avant la naissance, le mésenchyme au contact des faces supérieures et inférieures des plaques se différencie en **périoste** qui élabore l'os dense des tables internes et externes ce qui constitue l'ossification primaire périostique.

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 :

La fontanelle **postérieure** (petite fontanelle ou encore fontanelle **lambdoïde**) qui se ferme **trois mois** après la naissance.

La fontanelle **antérieure** (grande fontanelle ou encore fontanelle **bregmatique**) qui se ferme vers **2 ans**. 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**.

L'ossification secondaire 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.

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.

Ce dernier 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 ostéone.

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, le remodelage osseux est **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 principalement régulé par des facteurs **hormonaux** et des facteurs **mécaniques**.

En ce qui concerne les facteurs mécaniques, les **ostéocytes** agissent comme des **mécanorécepteurs** : c'est-à-dire qu'ils perçoivent les variations de contraintes s'exerçant sur le tissu osseux.

Ils transmettent l'information aux ostéoblastes qui peuvent augmenter la synthèse de matrice osseuse ou au contraire de demander aux ostéoclastes d'accroître la résorption osseuse.

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



Les facteurs hormonaux sont représentés par deux principales hormones : la parathormone et la calcitonine.

La **parathormone** est sécrétée par les **parathyroïdes** en réponse à une **baisse** de la concentration sanguine en calcium, également appelée **calcémie**. La parathormone est une hormone **hypercalcémiant**e (calcium os vers le sang) qui active **indirectement** les **ostéoclastes** via les ostéoblastes. *(on veut que le calcium sorte du tissu osseux pour remonter la calcémie !)*

La **calcitonine** est sécrétée par les **cellules C de la thyroïde** en réponse à une **hausse** de la calcémie, la calcitonine est une hormone **hypocalcémiant**e (calcium sang vers les os) qui inhibe directement les ostéoclastes. *(on ne veut pas que le calcium sorte du tissu osseux !)*

On parle d'hormone hyper ou hypocalcémiant par rapport à la concentration sanguine de calcium. *(si vous avez du mal regardez le schéma en dessous)*

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

