

Ostéogenèse

Qu'est ce que l'ostéogenèse ?

L'ostéogenèse 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** (non osseux du coup). Elle assure la **construction** osseuse initiale (on part d'un autre tissu et on crée de l'os)
- **L'ossification secondaire** au cours de laquelle le **tissu osseux remplace le tissu osseux**. L'ossification secondaire assure le **remodelage** osseux.



L'ossification primaire et secondaire participent à la **croissance osseuse**.

Quand est-ce que ça se passe tout ça ?

La **construction osseuse** initiale (ossification primaire) se déroule chez **l'embryon, le fœtus 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 (c'est un exemple mais il est à connaître)

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 (ossification secondaire).

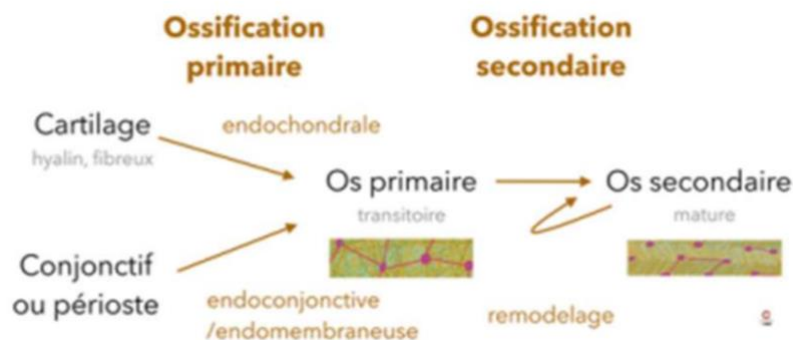
La **croissance osseuse** débute chez le fœtus et se poursuit chez l'enfant et l'adolescent. Elle est assurée par l'action conjointe des ossifications primaires et secondaires.

(Vous avez bien compris que la construction osseuse c'est l'ossification primaire mais la croissance osseuse comprend l'ossification primaire ET secondaire ?)

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

Dans ce cours on va voir comment notre organisme crée les os en détaillant les deux étapes de construction : ossification primaire et secondaire et en différenciant les os du crâne et les os long.

Qu'est ce que l'ossification primaire ?



SEP

Au cours de l'ossification primaire, le tissu osseux remplace un autre type de tissu qui est **soit conjonctif soit cartilagineux**.

L'ossification primaire débute durant la vie embryonnaire ou fœtale et se poursuit après la naissance (ce n'est pas pour tous les os en même temps).

Elle se déroule en présence de contraintes mécaniques faibles.

- **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**.
- **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).

[L]
[SEP]

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

[L]
[SEP]

Parlons maintenant de l'ossification secondaire...

Qu'est ce que l'ossification secondaire ?

[L]
[SEP]

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).

[L]
[SEP]

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]
[SEP]

En gros c'est logique, avant de remodeler quelque chose, il faut le construire donc sur un même endroit c'est l'ossification primaire d'abord et ensuite secondaire. En revanche, on a vu que l'ossification primaire ne se fait pas au même moment partout dans le corps donc quand certains sites passeront à l'ossification secondaire d'autres commenceront à peine l'ossification primaire. (Comprendo??)

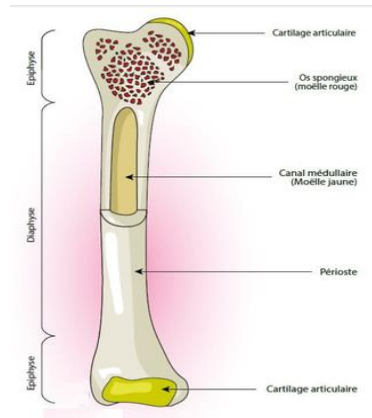


Aloors maintenant que vous avez compris tout ça on va passer à la distinction entre les types d'os. On va différencier les os longs et les os du crâne.

Vamooooos....



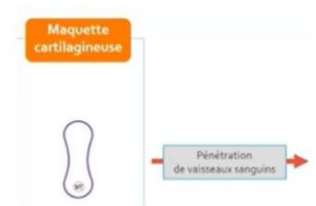
Comment se forment les os longs ?



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 est formée de **cartilage hyalin** et **constitue l'ébauche du futur os long** : elle a grossièrement la forme de la pièce osseuse définitive.

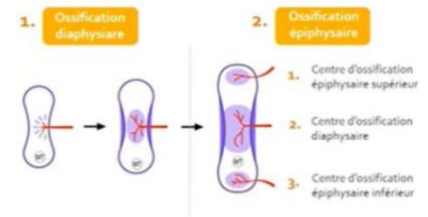


Elle va croître selon deux mécanismes : via la croissance **interstitielle** et via croissance par **apposition**.

- **Ossification :**

L'ossification **primaire** est déclenchée par la **pénétration de vaisseaux sanguins dans le cartilage** (dans la maquette cartilagineuse que l'on vient de voir) 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 **APRES** la naissance.



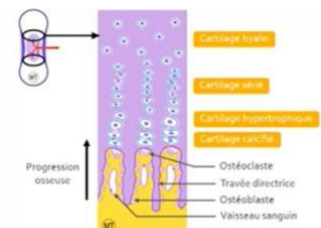
SEP

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**.

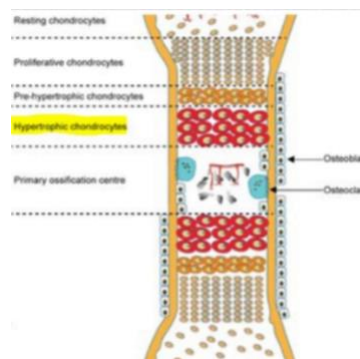
SEP

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 sang distribue l'oxygène dans le cartilage et lui permet de grandir c'est pour ça qu'il devient hypertrophique)

Le cartilage hypertrophique est le chef d'orchestre de l'ossification endochondrale (ossification à partir de cartilage) : il est caractérisé par la présence de volumineux chondrocytes dont les noyaux deviennent **pycnotiques** (pycnotique = quand leur chromatine est très condensée).



- **Ossification endochondrale** : (croissance en longueur des os longs)

A l'**opposé** du bourgeon conjonctivo-vasculaire (**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 **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** (du côté du **BCV**) 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 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 (le tissu osseux primaire endochondrale) 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).

L'érosion du cartilage s'arrête lorsque les zones d'ossification atteignent les **métaphyses** (parties de l'os entre la diaphyse et les épiphyses), 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.

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

Donnnnnc

Recap' par cœur les loulous 🗣️ (je vous laisse mettre vos couleurs sur les recap)

Pénétration d'un bourgeon conjonctivo-vasculaire à partir du perichondre → cartilage hypertrophique

A l'opposé du bourgeon : prolifération des chondrocytes → Cartilage sérié
Mnémono : ils prolifèrent donc on en fait une série => sérié

Du côté du bourgeon : minéralisation de la MEC par le cartilage hypertrophique → Cartilage calcifié

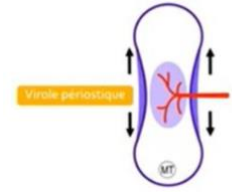
Le bourgeon amène ostéoclastes → destruction du cartilage calcifié → Travées directrices de cartilage calcifié subsistent

Vaisseaux + cellules ostéoprogénitrices pénètrent dans les tunnels creusés → front vasculaire + différenciation des ostéoblastes → bordure épithélioïde

Les ostéoclastes détruisent les travées directrices restantes → ossification secondaire

- **Ossification périostique** : (croissance en épaisseur des os longs)

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.** (rappel : périoste = ce qui entoure l'os, périchondre = ce qui entoure le cartilage).

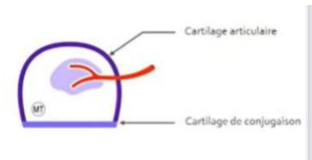


Les **ostéoblastes** **élaborent** le tissu osseux primaire assurant la croissance osseuse par **apposition successive de lamelles osseuses.**

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 de la diaphyse** des os longs.

Et au niveau des épiphyses ?

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 artriculaire et du cartilage de conjugaison.** (Et oui sinon on resterait tout petit toute notre vie et ne pourrions pas bouger... ce serait balo...)

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.

Finito pour les os longs....

Comment se forment les os du crâne ?

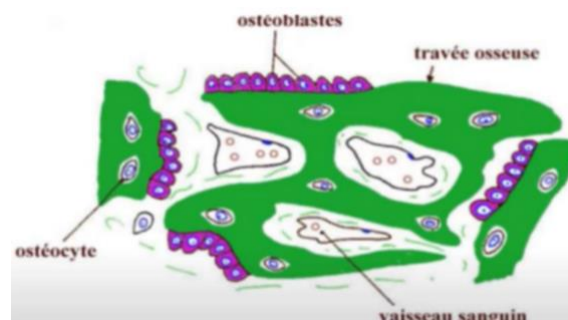
I- L'Ossification primaire

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



1- 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**.
- 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**.



2- 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

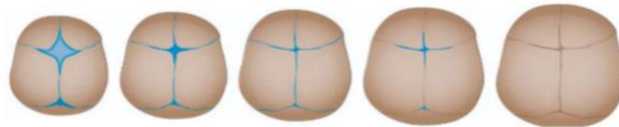
tables internes et externes ce qui constitue l'ossification primaire périostique. Il y a donc **croissance en épaisseur par apposition successive de lamelles osseuses**.

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

Il existe **DEUX** principales fontanelles :

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

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



Maintenant que l'on a vu l'ossification primaire on passe à la secondaire...

II- 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**.

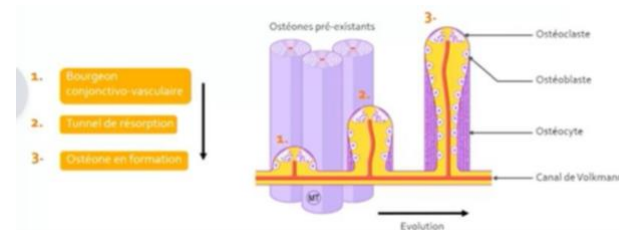
On rappelle que le tissu osseux est une structure dynamique en perpétuel remaniement : la croissance et le remodelage osseux impliquent tous deux la destruction du tissu osseux existant par les ostéoclastes, il existe donc un véritable couplage entre ostéoclastes et ostéoblastes.

Mnemo : osteoClastes = ils Cassent

- 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. (Non dit cette année)* Lorsque le processus est achevé un nouvel **ostéone** est formé, les **reliquets 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.



III- 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**.

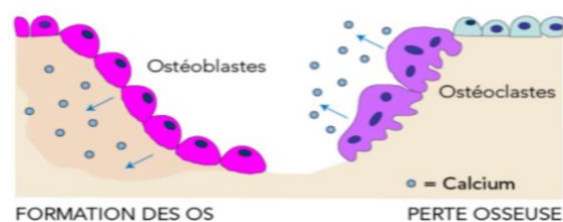
En effet, le tissu osseux s'adapte aux contraintes mécaniques ce qui permet de conserver ses fonctions de soutien, fonction mécanique et fonction de protection.

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 DEUX réponses possible : **une synthèse de matrice par les ostéoblastes** OU sa **résorption par les ostéoclastes** pour **préserver les fonctions mécanique, protectrice et de soutien**.

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

Parathormone	Calcitonine
Sécrétées par les parathyroïdes	Sécrétée par les cellules C de la thyroïde
En réponse à une baisse de glycémie	En réponse à une hausse de glycémie
HYPER calcémiante	HYPO calcémiante
Active indirectement les ostéoclastes via les ostéoblastes (on veut que le calcium sorte pour remonter la calcémie)	Inhibe directement 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**. Ces deux hormones participent donc au **maintien de l'homéostasie phosphocalcique**. (Non dit cette année)



Finitooooo pipooo....