



Osteogénèse

Qu'est ce que l'ostéogénèse ?

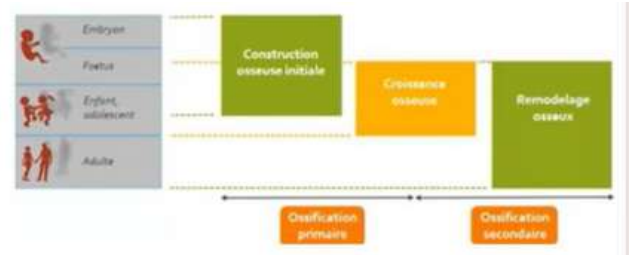
L'ostéogénèse se définit par l'ensemble des **phénomènes** conduisant à la **formation des os**.

Il existe deux types d'ossification :

- **L'ossification primaire** au cours de laquelle **le tissu osseux remplace un autre tissu** (donc remplace un tissu non osseux).

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 se passe ce phénomène ?

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).

Jannastomose

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**.

(petit recap : 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.

Pour ça on va détailler 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 ?

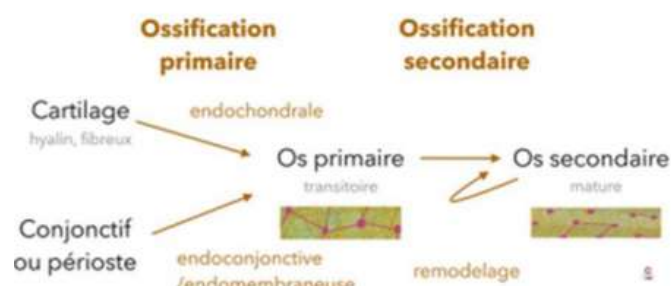
Au cours de l'ossification primaire, le tissu osseux remplace un autre type de tissu qui est **soit conjonctif soit cartilagineux**.

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).

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



Qu'est ce que l'ossification secondaire ?

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 différents**
- **Les deux types d'ossifications ont lieu sur le même site l'un après l'autre**

Petite explication : Il faut se dire que avant de remodeler quelque chose, il faut le construire donc sur un même site c'est à dire un meme lieu, il y a d'abord l'ossification primaire (qui construit) et ensuite secondaire (qui remodèle).

MAIS, 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.

*Maintenant que les esprits sont clairs hop hop hop à la partie suivante :
les différents type d'os.*

Comment se forment les os longs ?

La formation des os longs se fait en 2 étapes consécutives :

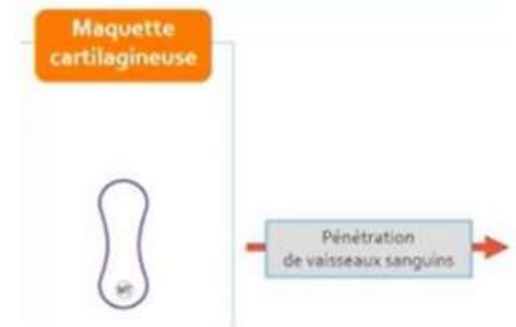
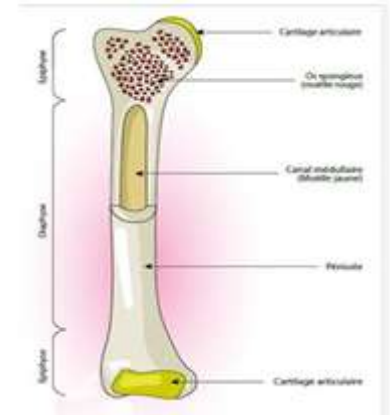
- la formation d'une maquette cartilagineuse
- puis l'ossification.

1. 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.

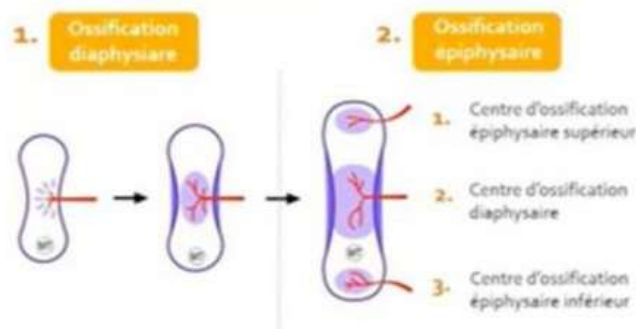
Elle va croître selon deux mécanismes : via la croissance **interstitielle** et via croissance par **apposition**.



2. 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 **épiphyssaires supérieurs et inférieurs** qui apparaissent **APRES** la naissance.



Jannastomose

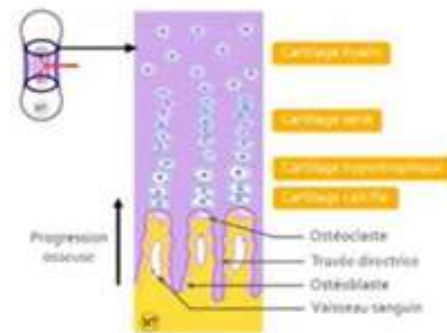
Au niveau **diaphysaire**, l'ossification se fait selon deux mécanismes :

- **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.

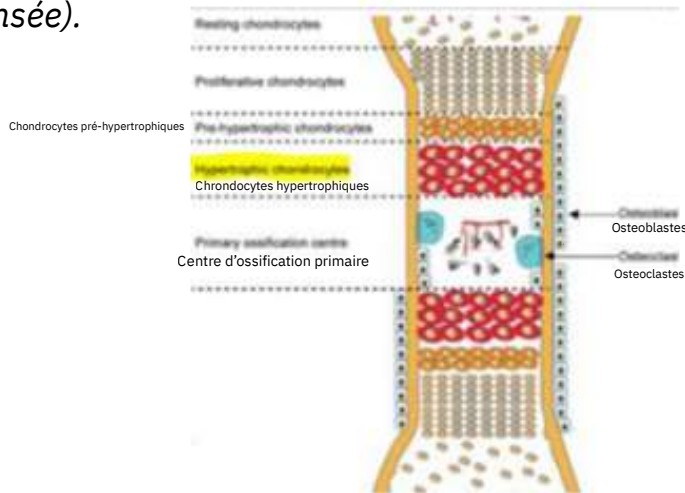
Ce bourgeon induit une **augmentation de la concentration en oxygène** et provoque une **hypertrophie du cartilage**.

(Le sang distribue l'oxygène dans le cartilage et lui permet de grandir c'est pour ça qu'il devient hypertrophique, c'est un peu l'étape suivante du cartilage)



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 la chromatine des chondrocytes 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.

Jannastomose

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.

on recapit'ut avec un tableau comme on les aime XD (vous me l'apprenez par coeur celui ci hein je vous vois 🙄)

Ce qu'il se passe	Ce que ça donne
Pénétration d'un bourgeon conjonctivo-vasculaire à partir du perichondre	→ cartilage hypertrophique
A l'opposé du bourgeon : prolifération des chondrocytes	Cartilage sérié <i>Mnémono : ils prolifèrent donc on en fait une série => sérié</i>
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

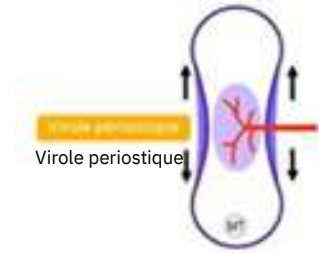
- **Ossification périostique** : (croissance en épaisseur des os longs)

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

Les **ostéoblastes 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 épiphyses pour former la **corticale osseuse**.

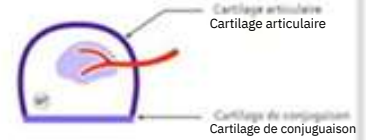
Jannastomose

Les appositions successives de lamelles osseuses permettent la **croissance en épaisseur de la diaphyse des os longs**



au niveau des épiphyses qu'est ce qu'il se passe ?

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**. (pour grandir c'est plutôt utile XD)

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.

les os long c fini maintenant go les os du crane →→→

Comment se forment les os du crane ?

I. Ossification primaire :

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



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

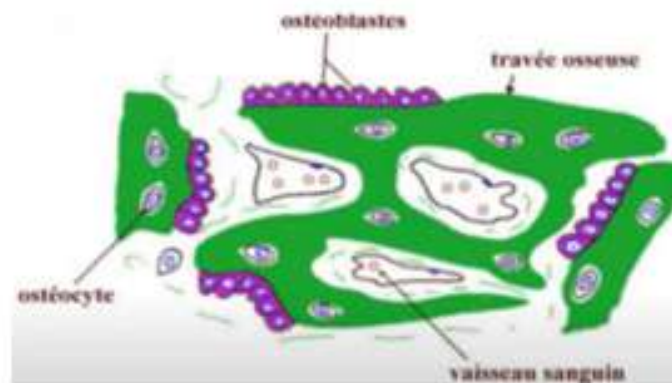
1- L'ossification de membrane se fait en **DEUX** phases :

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**.

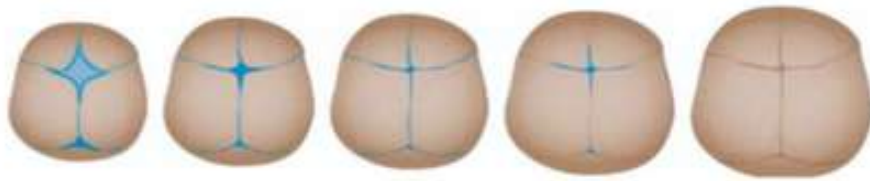
ENTRE les plaques, il existe des **espaces conjonctifs** dénommés **sutures** qui convergent vers des **espaces triangulaires : les fontanelles**.

Il existe **DEUX** principales fontanelles :

Si je ne me trompe pas vous les revoyez en anat TC (bigup à sandrotule et à passiflora 🤔🤔)

Fontanelle postérieur	Petite fontanelle ou fontanelle Lambdoïde	Se ferme 3 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.



II. 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.

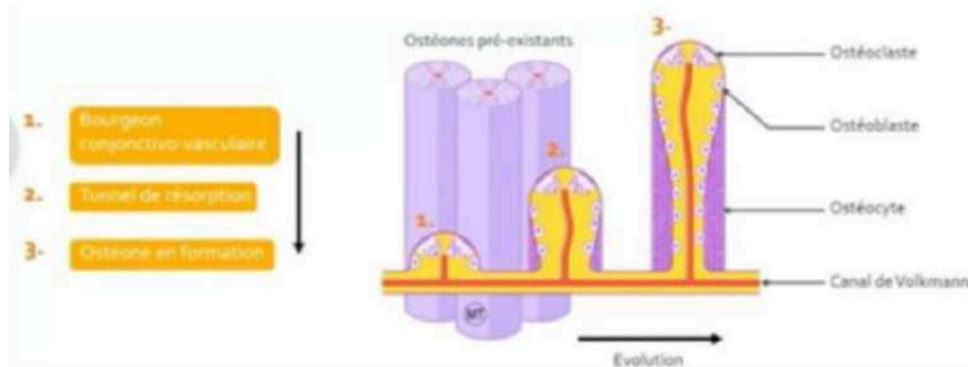
Tut'Mémo : osetoCLASTES ça me faisait penser à CASSER

- 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 l'année dernière)*

Jannastomose

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.



III. Le remodelage osseux :

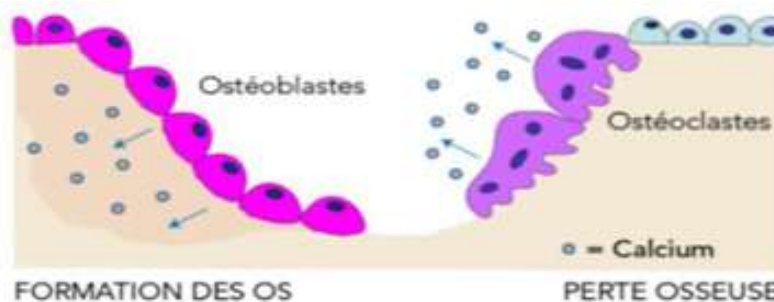
Le tissu **osseux lamellaire** se **renouvelle en permanence** grâce au **remodelage osseux**, il est donc **INDISPENSABLE** pour que le tissu osseux **conserve ses propriétés et ses fonctions**. Il résulte d'un **équilibre** entre construction ostéoblastique et destruction ostéoclastique et est **régulé** 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
Sécrétés par les parathyroïdes	Sécrétée par les cellules C de la thyroïde
En reponse à une baisse de la calcémie	En réponse à une hausse de la calcémie
Hyper calcémiante	Hypo calcémiante
Active indirectement les osteoclastes via les osteoblastes (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 l'année dernière)



Finiiii, enfin, bien joué d'avoir tenu jusque là les guys, c'est un cours qui n'est pas simple du tout mais qui passe vraiment bien quand vous l'avez compris donc bossez bien ce cour et surtout les QCM !!

N'hésitez pas a réviser sur ma fiches recap de l'osteogenese avec les schémas en même temps que ce cours ça peut mettre les idées au clair

Place aux Dediis :

- Dedi à ma marion d'amour (votre merveilleuse tutrice d'histologie) qui m'a suivi moi et ma chiantise tout au long de la LAS1 et 2
- dedi à mes parents qui m'ont soutenu dans mes moments des stress (c a dire moment de bipolarité intense) 🥰🔄
- dedi à la team la plus mignonne du tut et à mes cotut (Asia et Marion je vous loooove, team histo en force)
- dedi à mes fillots vous allez tout déchirer (et dedi aux LAS2 que je soutient de tout cœur 🥰🥰)
- Dedi à l'open Space (vous inquiétez pas je vais faire une autre session dedi + poussée avec tous les membre de l'open Space dans une autre fiche)