

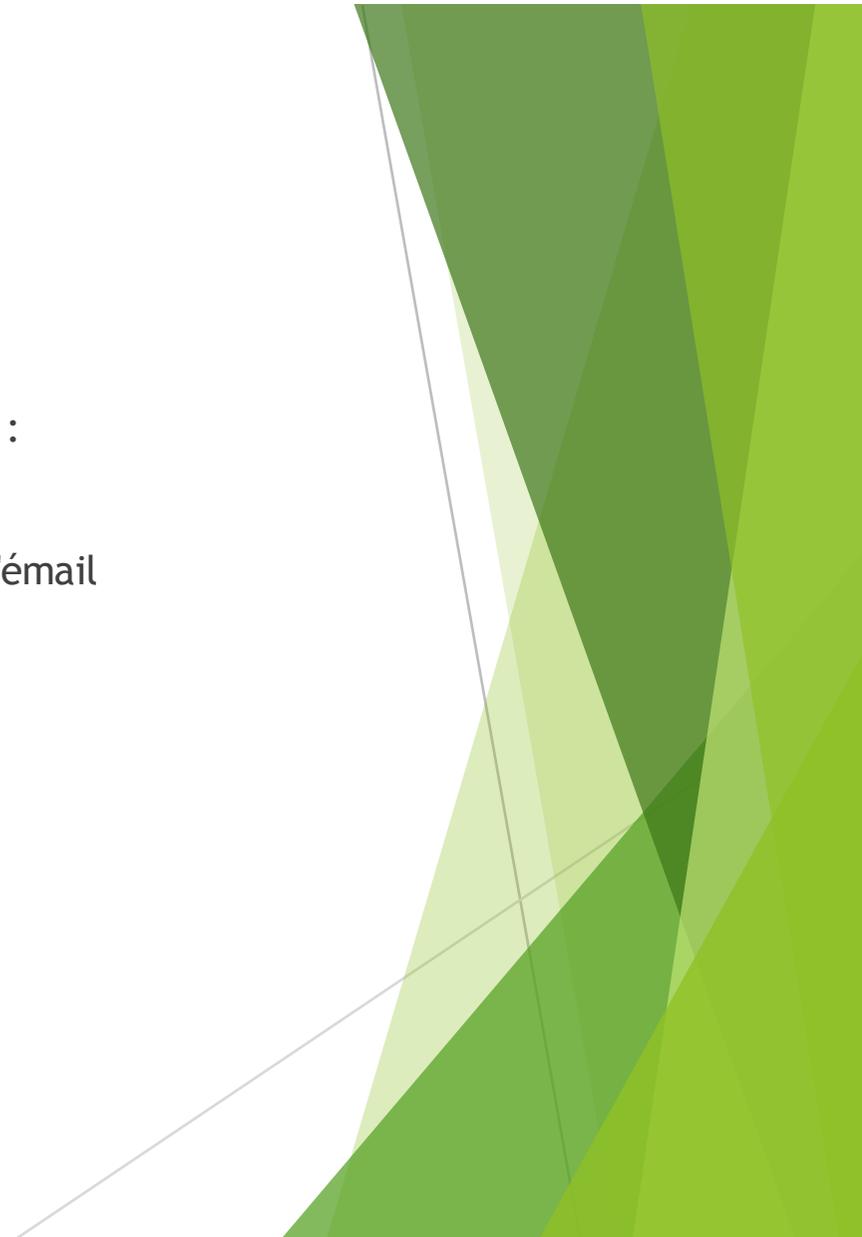


AMÉLOGÉNÈSE

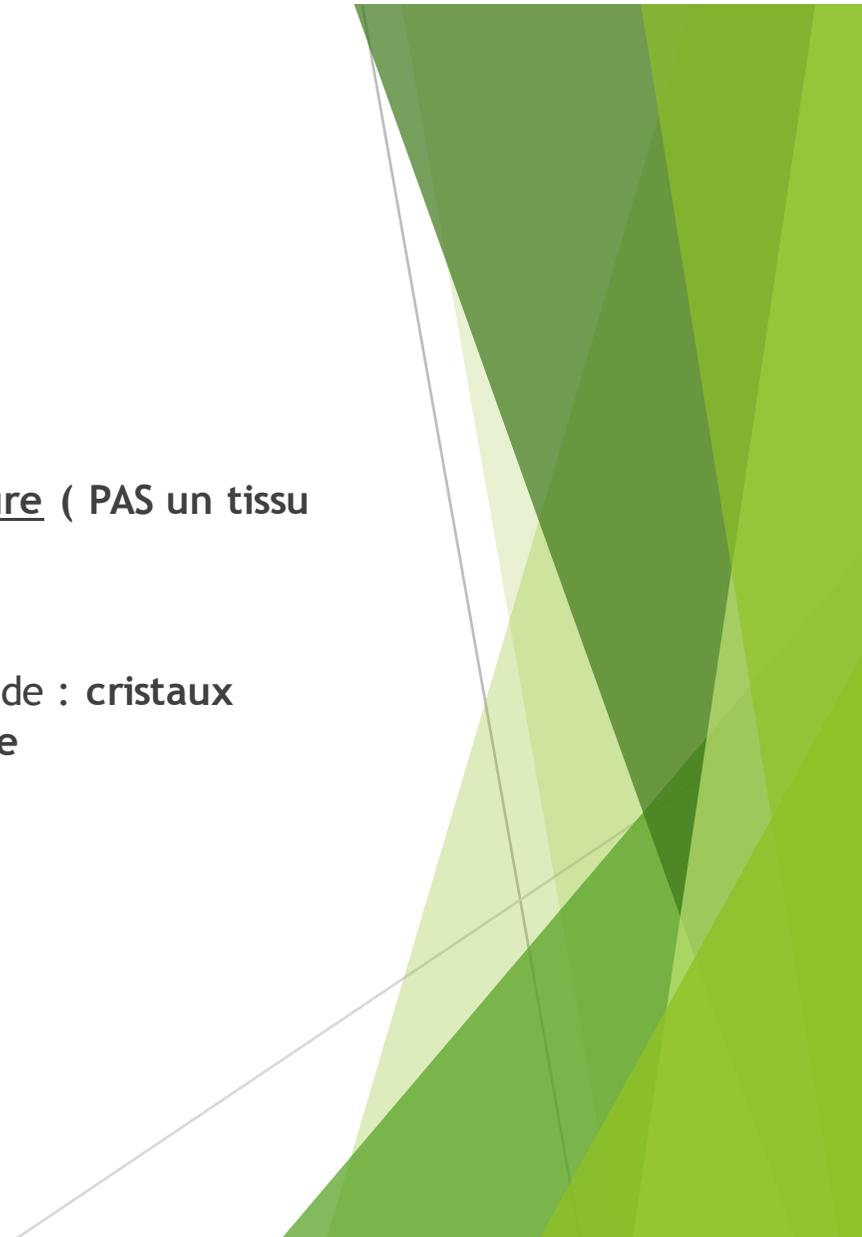
Synthèse

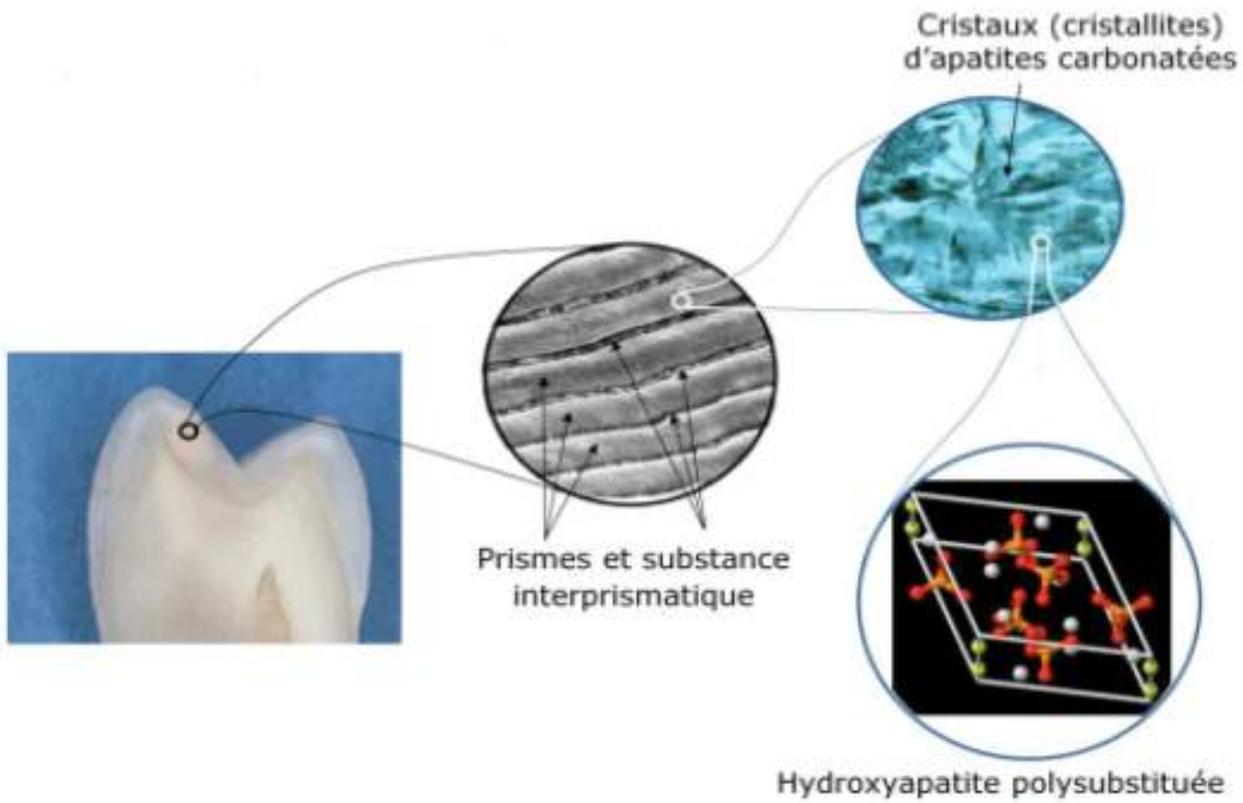
L'amélogénèse :

- ▶ est la formation de l'émail par l'améloblaste. Elle comprend :
- ▶ La **synthèse** et la **sécrétion** des molécules de la matrice de l'émail
- ▶ La **minéralisation**
- ▶ La **maturation** de l'émail.

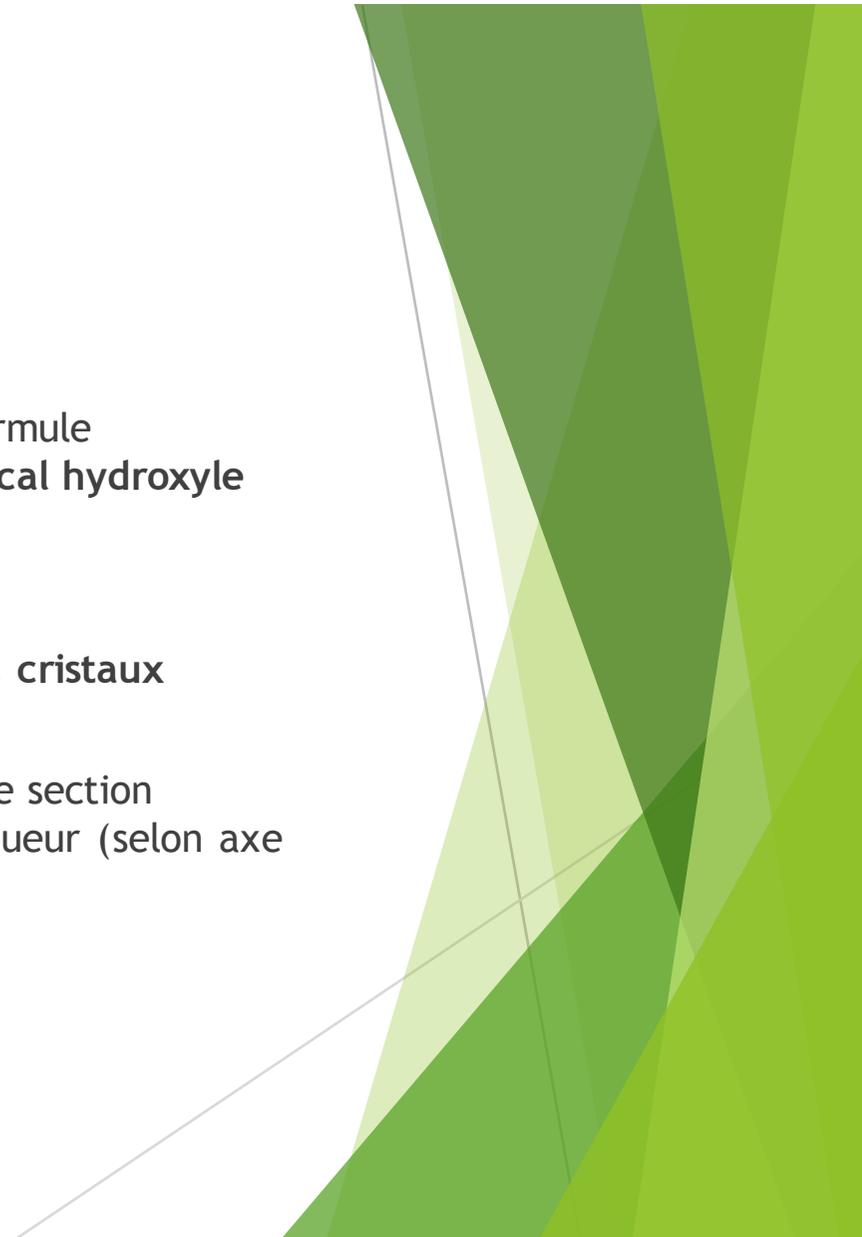


- ▶ L'émail, qui recouvre la couronne des dents, est une structure (PAS un tissu car acellulaire) avasculaire et non innervé.
- ▶ Organisée en prisme et substance aprismatique * composés de : cristaux (cristallites) d'apatites carbonatées formés d'hydroxyapatite polysubstituées.

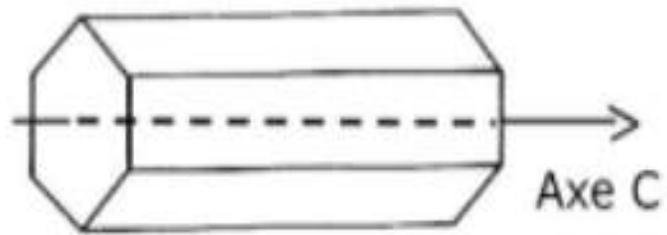




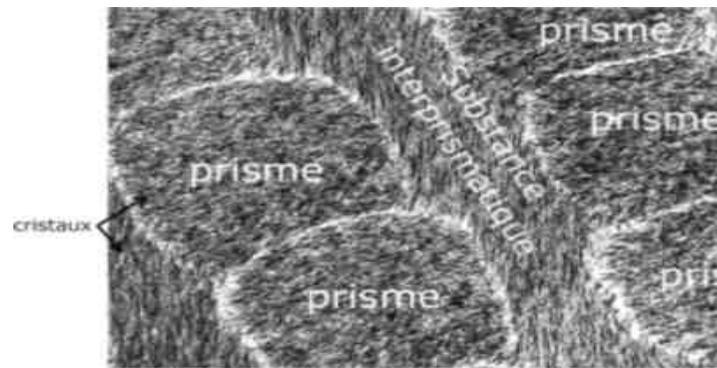
- ▶ La maille élémentaire de l'émail est l'hydroxyapatite de formule $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ * mais elle est polysubstituée * (ex : le radical hydroxyle (OH) est souvent substitué par du carbonate)*.
- ▶ Les dimensions de cette maille sont $<1\text{nm}^*$.
- ▶ Les mailles d'hydroxyapatites s'assemblent pour former des cristaux d'émail.
- ▶ Ces cristaux d'apatites carbonates sont en forme de ruban de section hexagonale* (épaisseur : 25-30nm, largeur : 60-70 nm, longueur (selon axe C) : peut dépasser 1mm).



Mailles -> cristaux -> rubans hexagonaux.



- L'émail est la structure la plus minéralisée de l'organisme** et dans l'émail les cristaux sont organisés de façon extrêmement complexe (structure arrondie = prismes). Les cristaux situés entre les prismes sont des substance interprismatiques (=SIP)

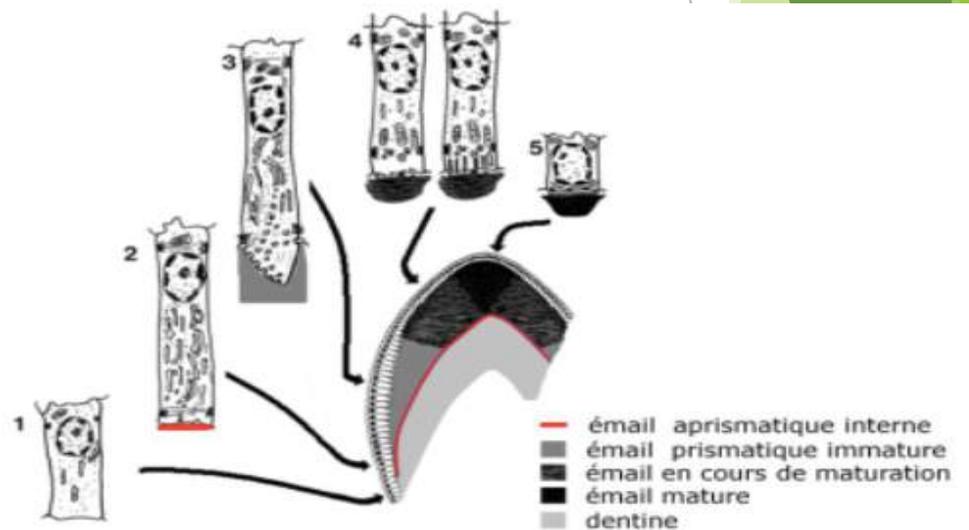


Rappel :

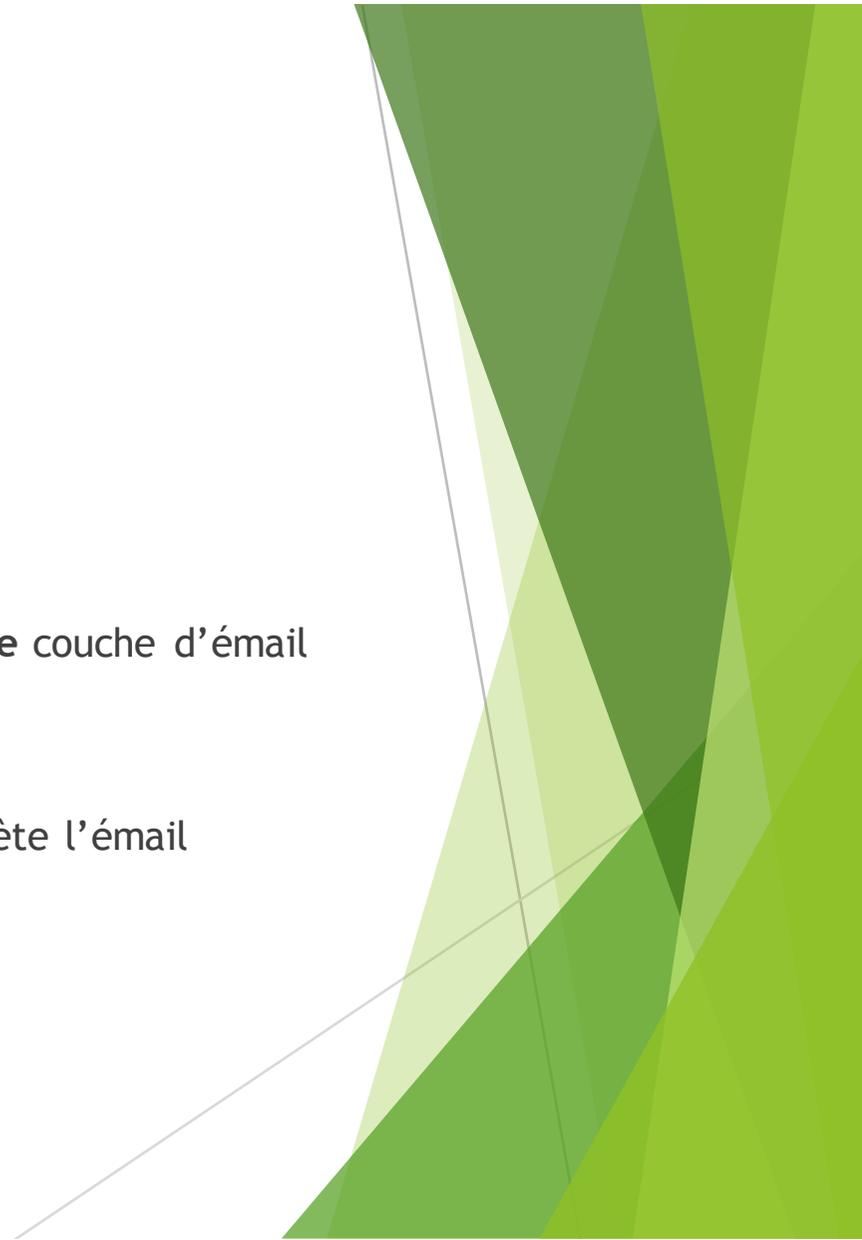
- ▶ L'émail est d'origine **ectodermique** * car les améloblastes sont issues de la différenciation des cellules de l'épithélium dentaire interne (EDI) de l'organe de l'émail.
- ▶ L'émail se forme **uniquement** au **stade de la couronne** *et lorsque la formation de l'émail d'une dent est terminée, débute alors le stade de la racine.
- ▶
- ▶ L'émail se forme pendant un **laps de temps donné** et s'il y a un **problème** de santé affectant l'**amélogénèse** pendant cette période, **seules les dents dont l'amélogénèse est en cours** seront atteintes car toutes les dents ne se forment pas en même temps.
- ▶ La **première couche d'émail** apparaît chez un embryon humain à la **14 semaine in utero** (incisives centrales temporaires).
- ▶ La formation de l'émail de **certaines dents définitives** peut durer presque **5 ans**.

Sur une dent au **stade de la couronne** on peut voir toutes les phases de la vie d'un améloblaste :

- ① pré-sécréteur
- ② sécréteur sans prolongement de Tomes
- ③ sécréteur avec prolongement de Tomes
- ④ de maturation
- ⑤ de protection



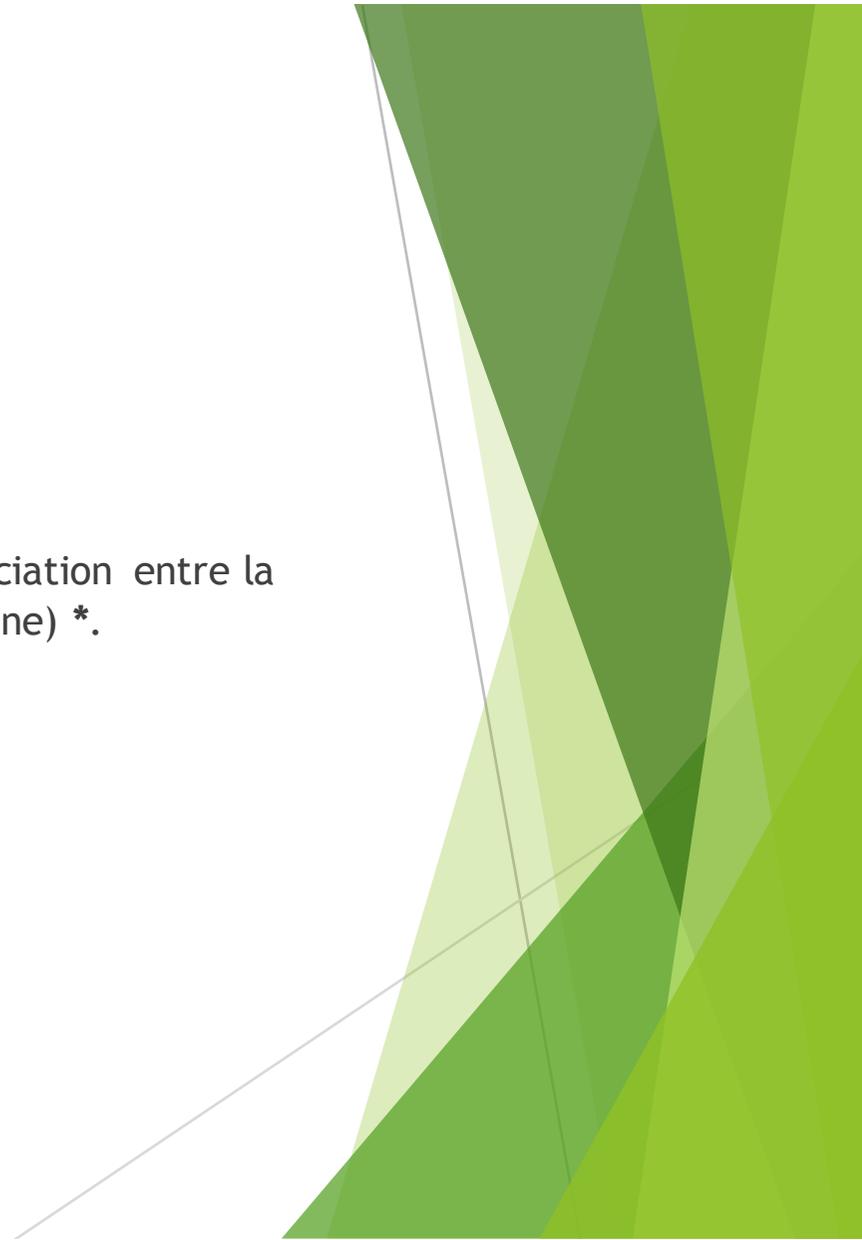
- ▶ L'améloblaste pré-sécréteur est en regard de la dentine.
- ▶ L'améloblaste sécréteur sans prolongement de Tomes à fine couche d'émail aprismatique au contact de la dentine.
- ▶ L'améloblaste sécréteur avec prolongement de Tomes sécrète l'émail prismatique immature



- ▶ L'améloblaste de maturation assure la maturation de l'émail.
- ▶ L'améloblaste de protection protège la surface de l'émail jusqu'à l'arrivée de la dent en bouche



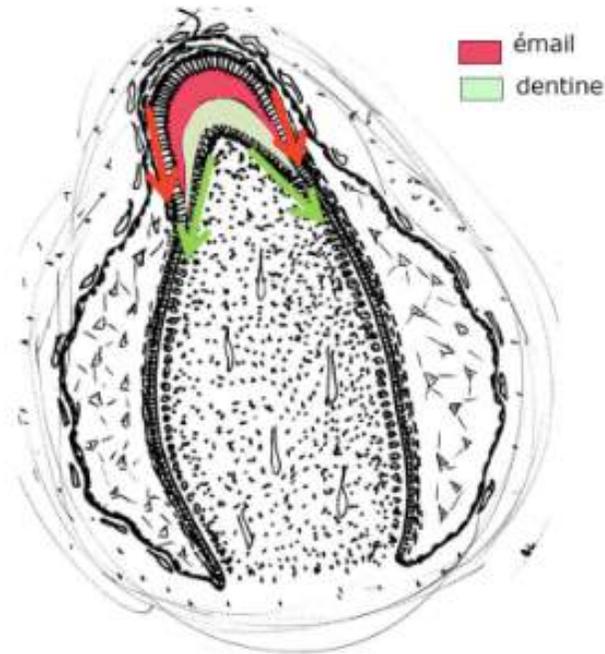
- ▶ L'amélogenèse suit un **gradient temporo-spatial** de différenciation entre la pointe de la dent (**cuspidé**) et le **collet** (jonction avec la racine) *.



AMÉLOBLASTE PRÉ-SÉCRÉTEUR :

- ▶ L'améloblaste pré-sécréteur correspond au stade d'histodifférenciation.
- ▶ En devenant améloblaste pré-sécréteur, le pré-améloblaste sort du cycle mitotique * et évolue donc en une cellule post-mitotique qui ne se divise plus). Cette sortie du cycle est couplée avec celle des odontoblastes avec un décalage dans le temps de 24-66h.
- ▶ Au cours de la différenciation en améloblaste pré-sécréteur, le pré-améloblaste s'allonge (devient prismatique) et son noyau migre en direction du stratum intermedium (SI) * vers le pôle proximal de la cellule (l'améloblaste pré-sécréteur est polarisé). La majorité des organites de synthèse (REG, Golgi) s'accumule au pôle distal en contact avec la MB.

AMÉLOBLASTE PRÉ-SÉCRÉTEUR :

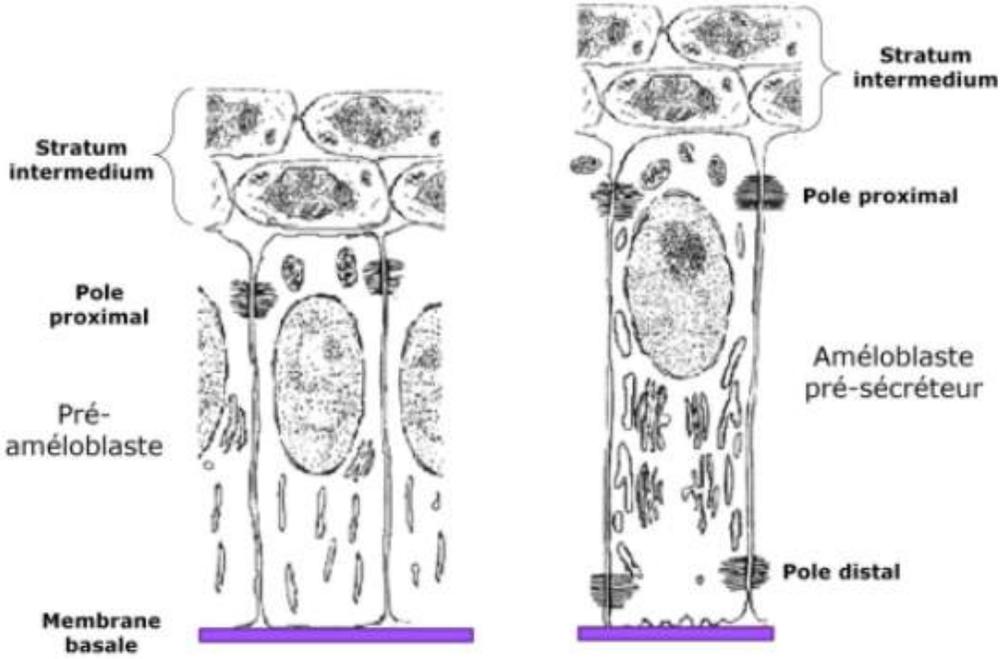


AMÉLOBLASTE PRÉ-SÉCRÉTEUR :

- ▶ L'**alignement** des améloblastes pré-sécréteurs est ainsi maintenu par **deux complexes de jonction** qui encerclent les cellules à leurs extrémités **distale** (proche de la **MB**) et **proximale** (proche du **SI**).
- ▶ Des **filaments intermédiaires** fixés sur ces complexes irradient dans le cytoplasme pour former des **toiles terminales (terminal web)**. L'améloblaste pré-sécréteur acquière donc progressivement les **caractéristiques** d'une cellule **sécrétrice**.



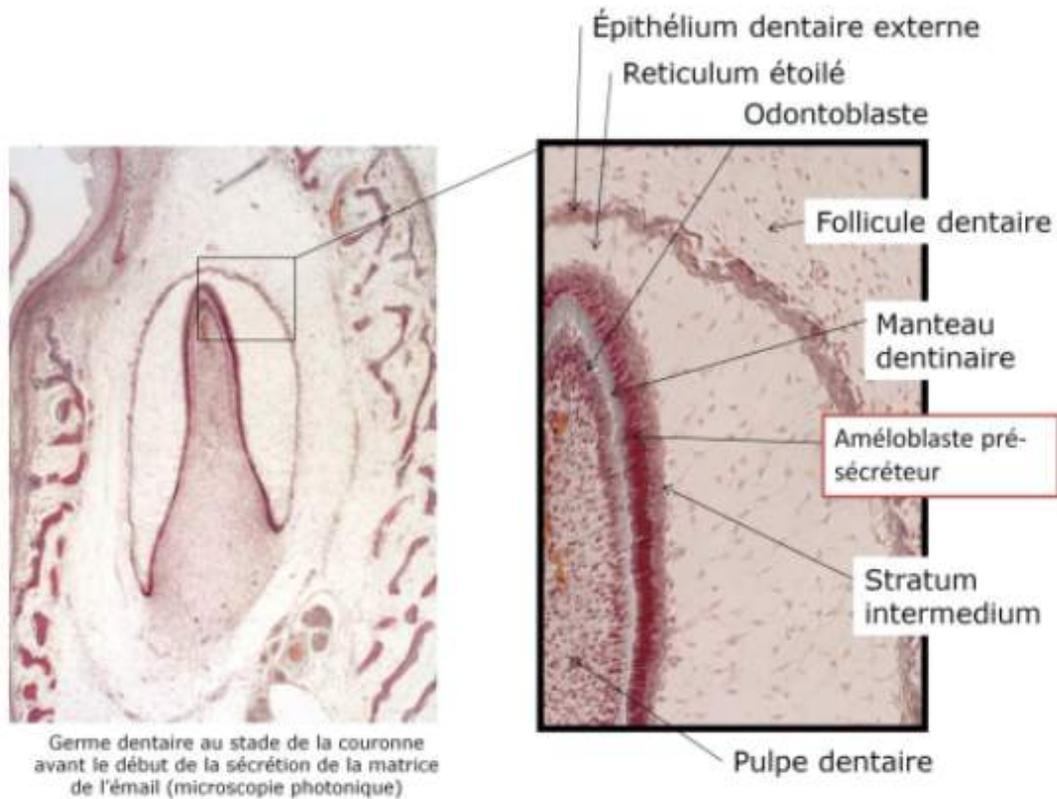
PRÉ-AMÉLOBLASTE -> AMÉLOBLASTE PRÉ-SÉCRÉTEUR :



AMÉLOBLASTE PRÉ-SÉCRÉTEUR :

- ▶ La différenciation des améloblastes pré-sécréteurs s'accompagne de la **dégradation** de la **MB** qui séparait les **pré-améloblastes** des **pré-odontoblastes** par des **métalloprotéases**. **
- ▶ La **disparition** de la **MB** suit la **sécrétion** du **manteau dentinaire** par les **odontoblastes** *. La MB est tout d'abord **dégradée** par des **métalloprotéases** présentes dans des **vésicules** issues du bourgeonnement de la membrane plasmique des **odontoblastes** *, puis les **fragments** de cette MB sont **phagocytés** par les **améloblastes pré-sécréteurs** * qui terminent la dégradation grâce à leurs **lysosomes**.
- ▶ La **disparition** de la **MB** permet aux **améloblastes pré-sécréteurs** d'entrer en **contact** avec le **manteau dentinaire** qui se **minéralise** et induit l'**amélogénèse**. **
- ▶ L'**améloblaste pré-sécréteur** devient **sécréteur** et dépose une **première couche d'émail** au contact de la **dentine**. *

AMÉLOBLASTE PRÉ-SÉCRÉTEUR :

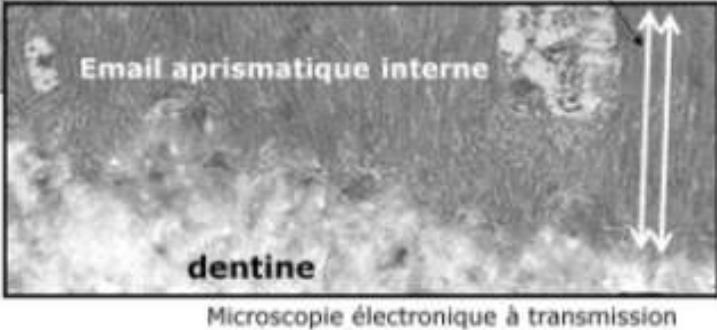
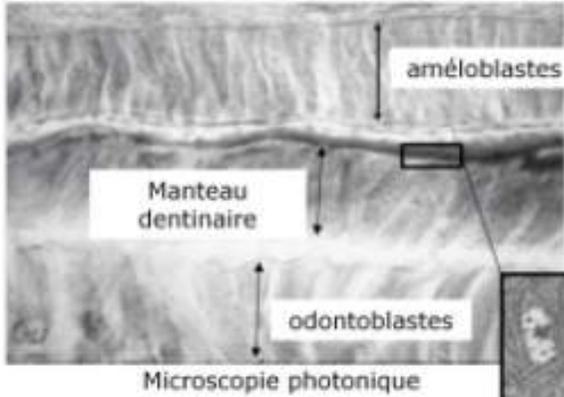
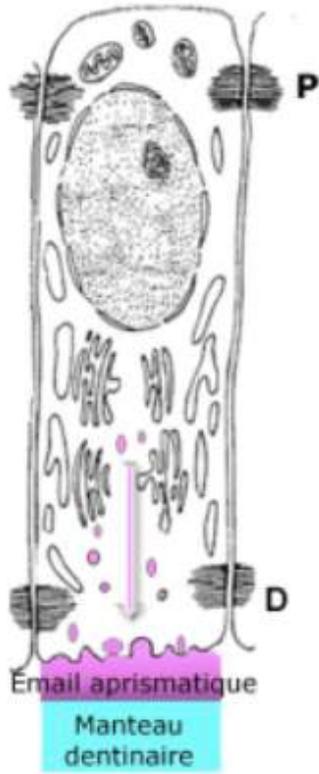


AMÉLOBLASTE SÉCRÉTEUR SANS PROLONGEMENT DE TOMES :

- ▶ La cellule s'allonge (hauteur : 60 μm , largeur : 4 μm), elle se polarise de plus en plus.
- ▶ Le nombre et l'organisation de ses organites de synthèse augmentent.
- ▶ De nombreuses vésicules de synthèse sont acheminées vers le pôle distal de la cellule (proche du manteau dentinaire) où des images d'exocytose sont observées. C'est le début de la sécrétion des protéines de l'émail.
- ▶ La première couche de matrice de l'émail est sécrétée directement au contact du manteau dentinaire.



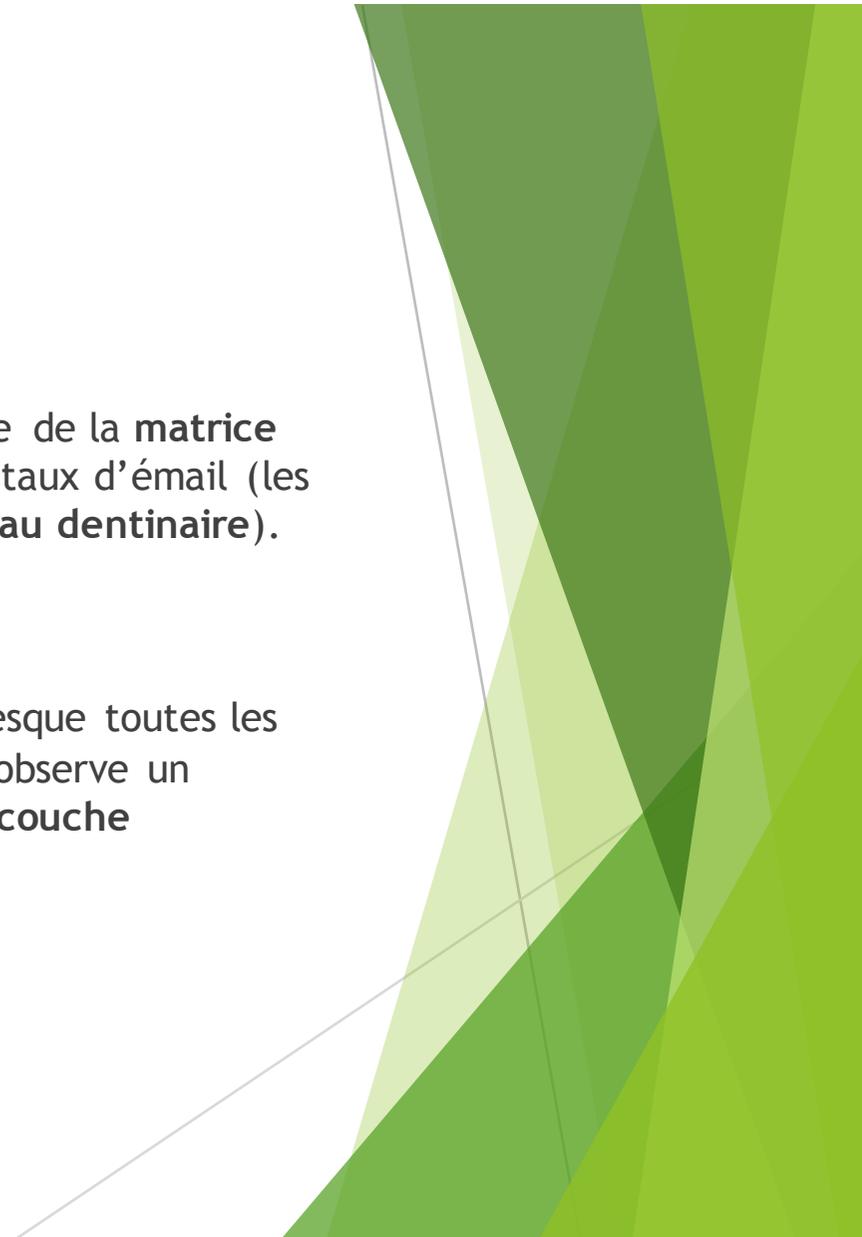
AMÉLOBLASTE SÉCRÉTEUR SANS PROLONGEMENT DE TOMES :



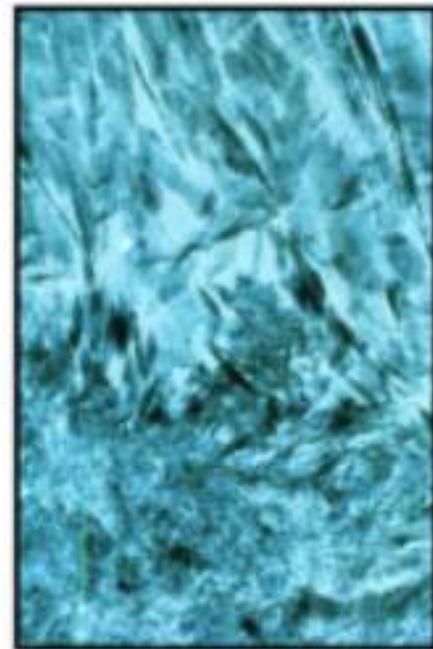
Orientation des cristaux d'émail

AMÉLOBLASTE SÉCRÉTEUR SANS PROLONGEMENT DE TOMES :

- ▶ Cette 1^{ère} couche forme la jonction émail/dentine composée de la matrice minéralisée du manteau dentinaire en contact avec des cristaux d'émail (les cristaux d'émail sont plus grands que les cristaux du manteau dentinaire). Elle mesure 10 μm d'épaisseur et est **aprismatique**. **
- ▶ En regard de cette couche d'émail nouvellement formée, presque toutes les cellules du **réticulum étoilé** disparaissent par **apoptose**. On observe un **accolement** entre l'EDE et le SI appelé **collapsus** formant la **couche papillaire**. *



AMÉLOBLASTE SÉCRÉTEUR SANS PROLONGEMENT DE TOMES :



Email
aprismatique
interne

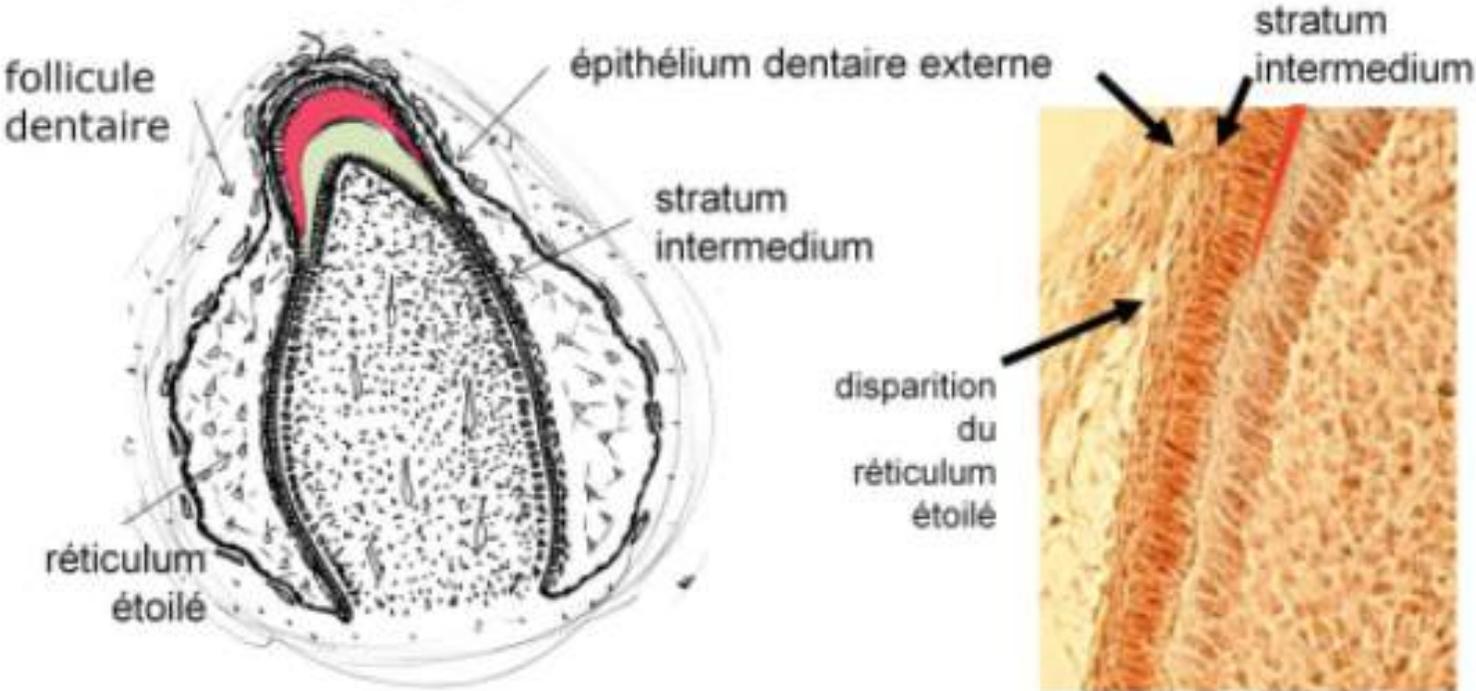
← Jonction émail/dentine

Manteau dentinaire

Jonction émail dentine observée en
microscopie électronique à transmission

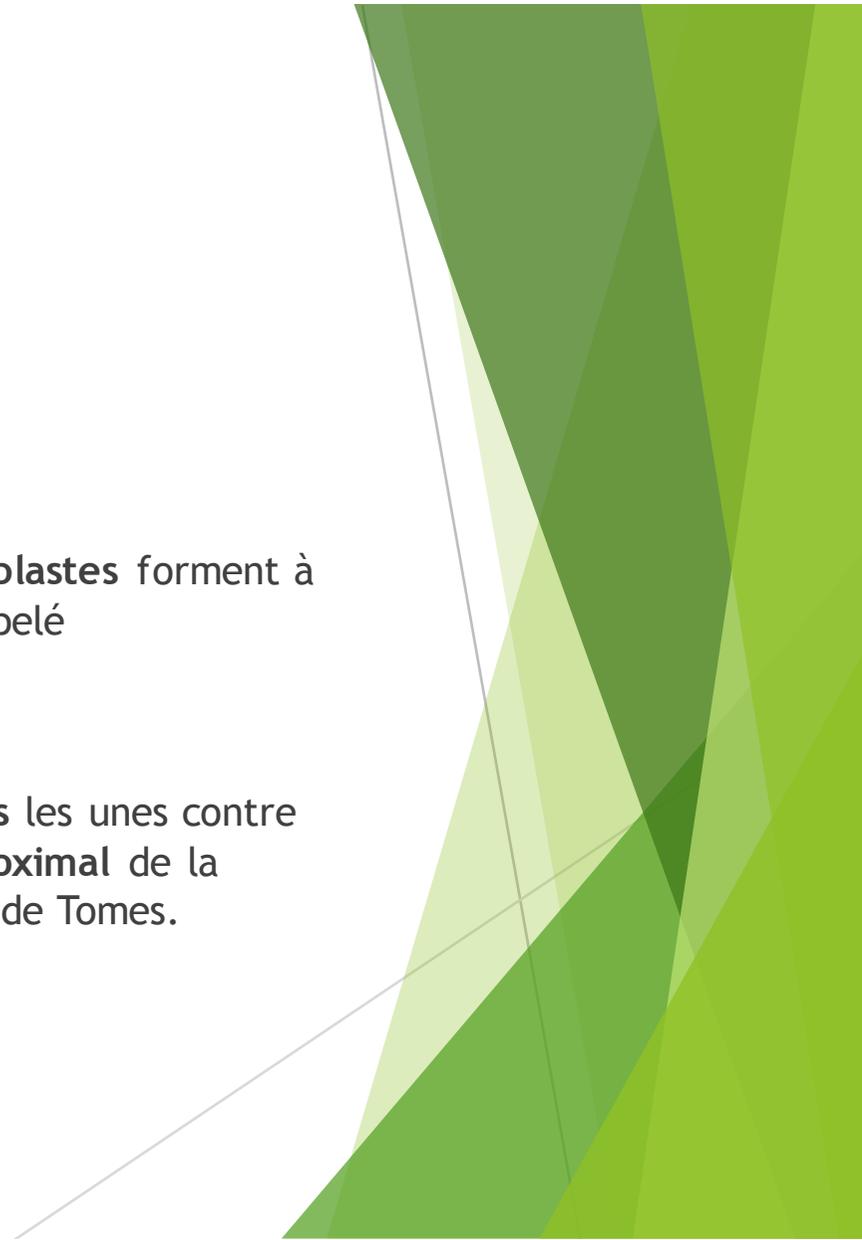


AMÉLOBLASTE SÉCRÉTEUR SANS PROLONGEMENT DE TOMES :

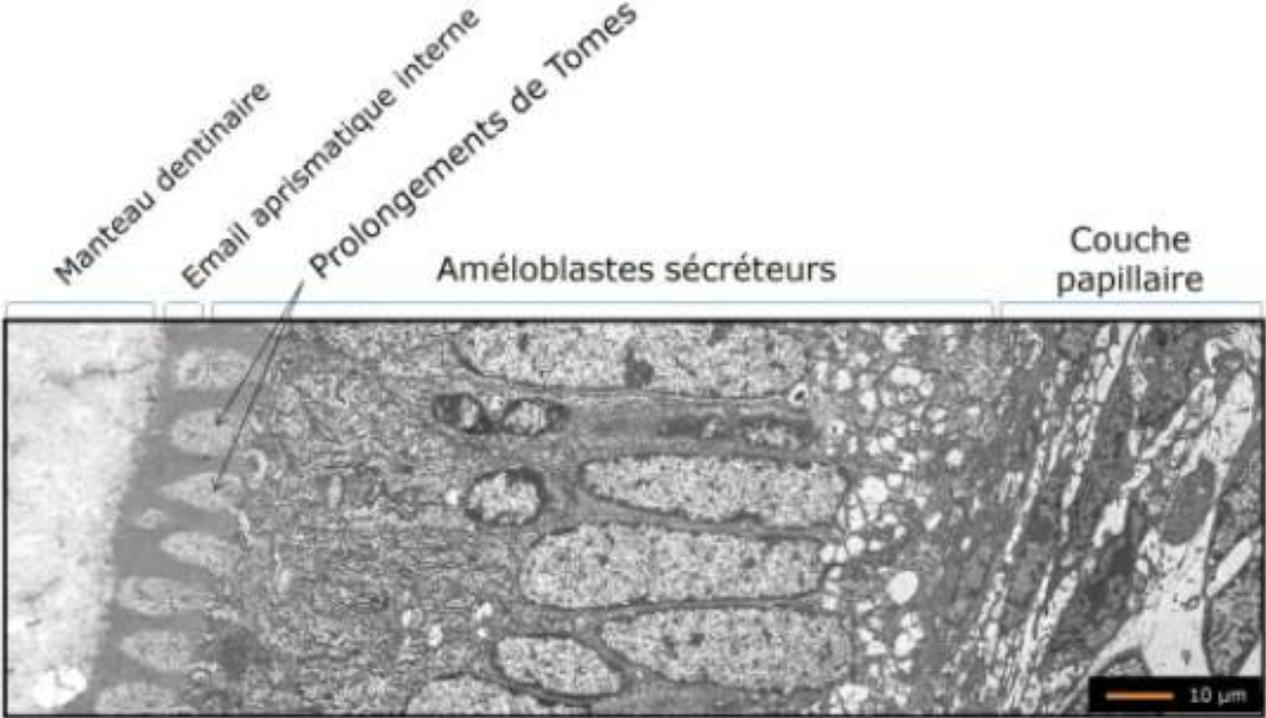


AMÉLOBLASTE SÉCRETEUR AVEC PROLONGEMENT DE TOMES :

- ▶ Il sécrète l'émail **prismatique immature**. *
- ▶ Dès que l'émail **aprimatique interne** est déposé, les **améloblastes** forment à leur **pôle distal** un court prolongement de forme **conique** appelé **prolongement de Tomes**. *
- ▶ Les **améloblastes** sont des cellules **très étroites**, très **serrées** les unes contre les autres présentant un **noyau volumineux** situé au **pôle proximal** de la cellule (proche de la **couche papillaire**) et un prolongement de Tomes.



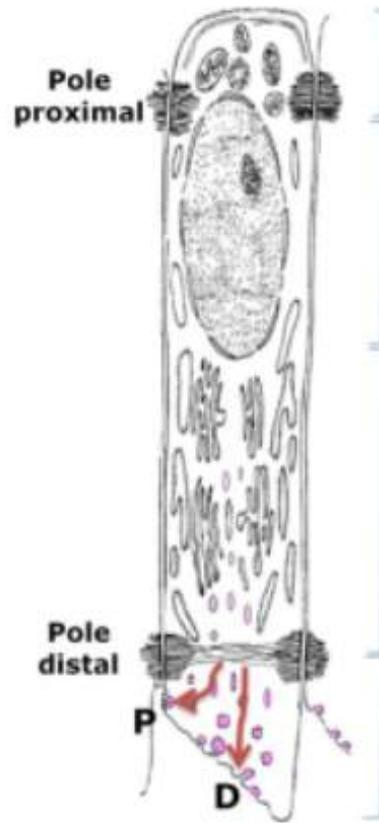
AMÉLOBLASTE SÉCRETEUR AVEC PROLONGEMENT DE TOMES :



microscopie électronique à transmission



L'améloblaste sécréteur présente une ultrastructure divisée en 4 compartiments :

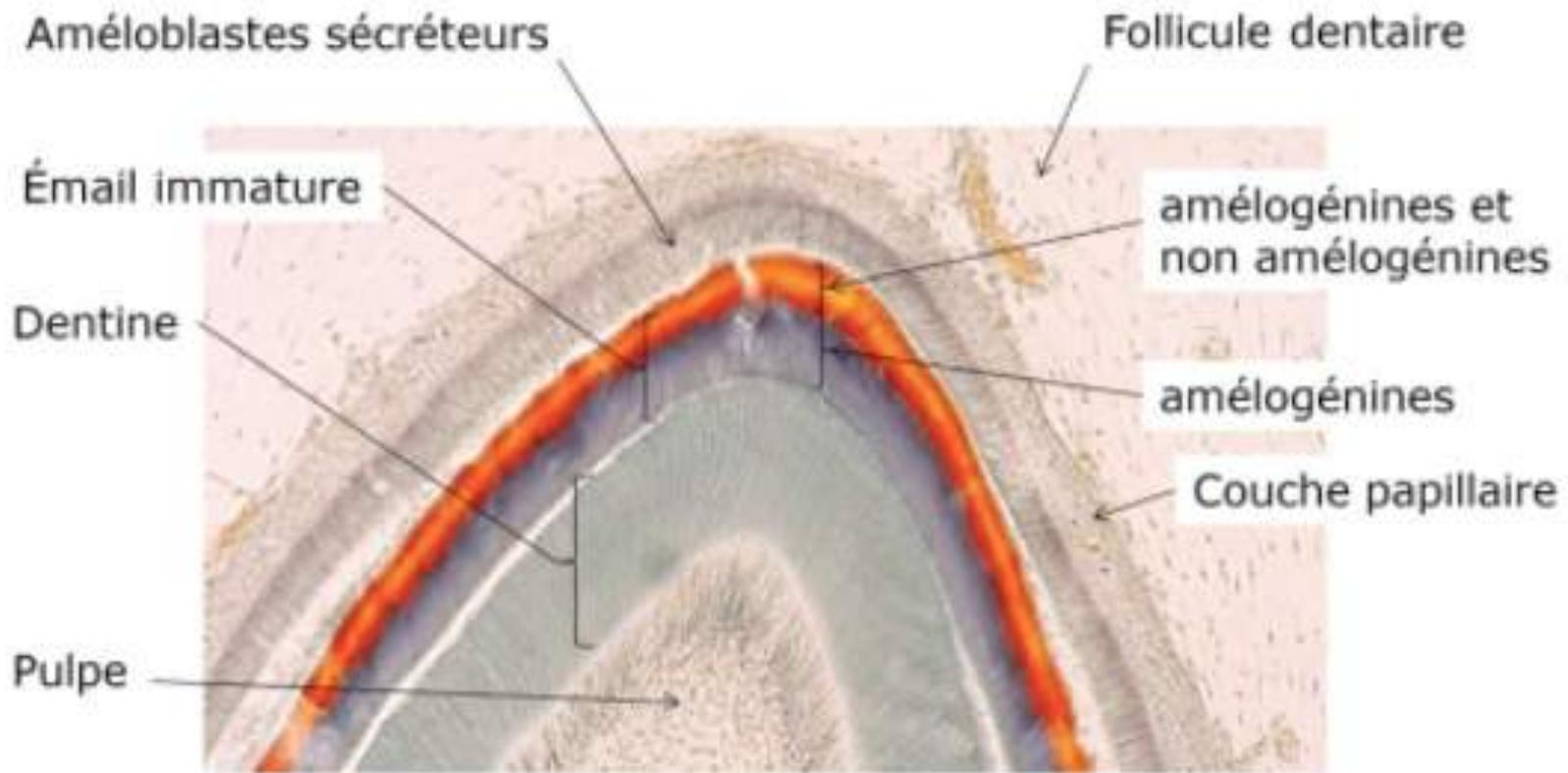


Compartiment infranucléaire :
mitochondries, granules de glycogène, REG, systèmes de jonction et microfilaments

Compartiment nucléaire :
noyau

Compartiment supranucléaire :
REG, Golgi central long et cylindrique, parallèle au grand axe, lysosomes

Compartiment apical :
le prolongement de Tomes terminal web, microfilaments vésicules de sécrétion et images d'exocytoses

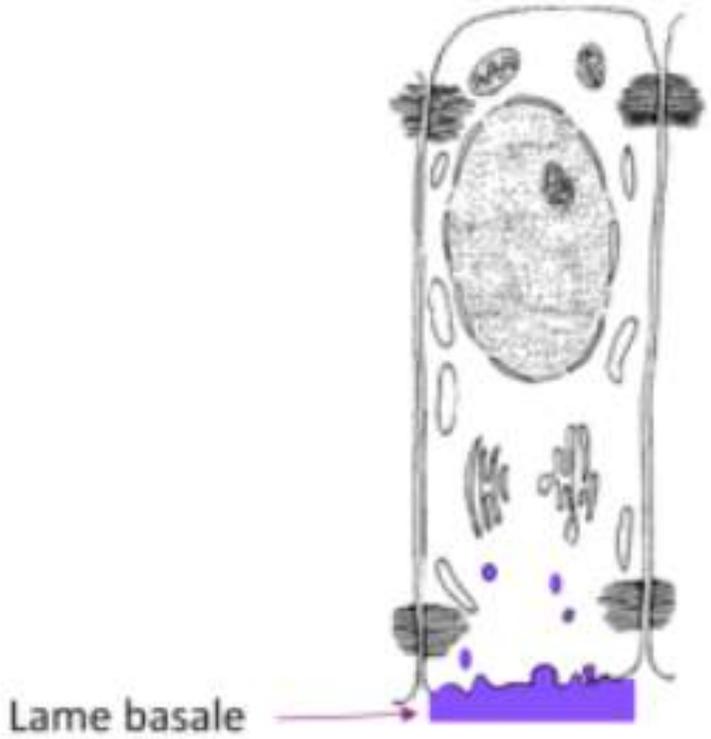


Amélogénèse observée en microscopie photonique

Fin de la phase de sécrétion : améloblaste de transition :

- ▶ Lorsque l'améloblaste a sécrété une épaisseur suffisante d'émail immature, 25% des améloblastes s'apoptosent.
- ▶ Les améloblastes restants se raccourcissent, s'élargissent, ce qui permet de couvrir encore la surface d'émail. Ces cellules perdent leur prolongement de Tomes et la quantité d'organites de synthèse diminue. Ces organites sont dégradés à l'intérieur de la cellule par leurs lysosomes.
- ▶ Les améloblastes de transition ne synthétisent plus de protéines de la matrice de l'émail mais synthétisent et sécrètent une sorte de lame basale qui adhère à la surface de l'émail immature
- ▶ Cette lame basale pourrait aider à la régulation des échanges entre l'émail immature et le FD via la couche papillaire. En effet, à ce stade, des ions calcium issus du FD pénètrent dans la couche papillaire.

Fin de la phase de sécrétion : améloblaste de transition :



AMÉLOBLASTE DE MATURATION :

- ▶ A ce stade, **25% d'améloblastes supplémentaires** disparaissent par **apoptose**.
- ▶ Le **stade de maturation** correspond à la phase de **croissance** en **épaisseur** et en **largeur** des cristaux d'émail. Pour ce faire, il faut **2 processus simultanés**:
 - ▶ - **élimination** des **nanosphères d'amélogénines *** qui **limitaient la croissance** en **largeur** et en **épaisseur** des cristaux
 - ▶ - **arrivée massive d'ions calcium et phosphate** dans l'émail pour permettre cette croissance des cristaux.
- ▶ Les **améloblastes réduisent** encore de **taille** et le **nombre** de leurs **organites de synthèse** et **s'élargissent**. Ils vont présenter à leur **pôle distal** deux aspects morphologiques différents : **lisse** ou **plissé**

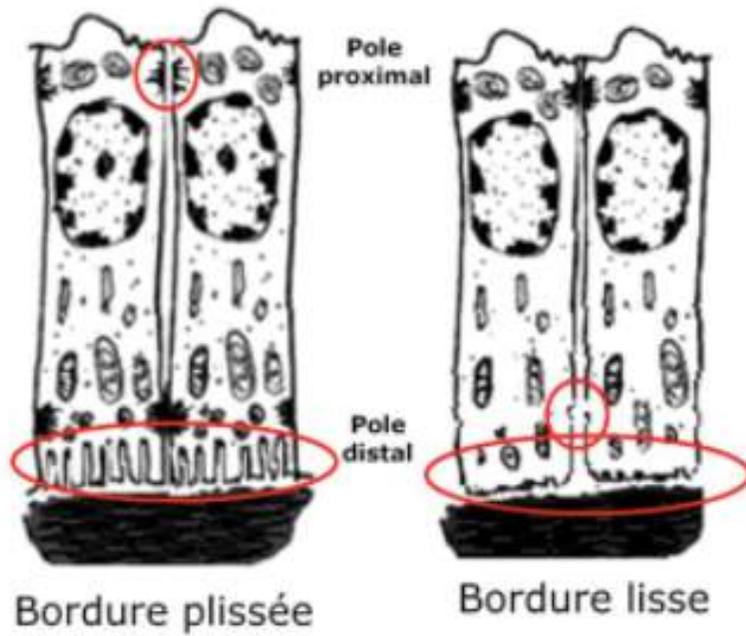
AMÉLOBLASTE DE MATURATION :

- ▶ Il y a un **couplage** entre l'aspect du **pôle distal** et les **systèmes de jonctions** entre les améloblastes. Aspect **plissé** :
 - ▶ - **Que** des systèmes de jonction **distaux serrés (étanches)** *
 - ▶ - **Que** des systèmes de jonction **proximaux lâches (perméables)** * Aspect **lisse**:
 - ▶ - **Que** des systèmes de jonction **distaux lâches**.
 - ▶ - **Que** des systèmes de jonction **proximaux serrés**.
- ▶ Les **améloblastes de maturation** effectuent une **modulation**, ils créent de façon **cyclique** une bordure **plissée** puis **lisse** à leur pôle **distal**.
- ▶ Pendant la phase de **maturation**, chaque **améloblaste** passera d'un pôle distal **lisse** à **plissé 5-7 fois** mais **80%** de son temps sera à l'état **plissé (20% à l'état lisse)**.

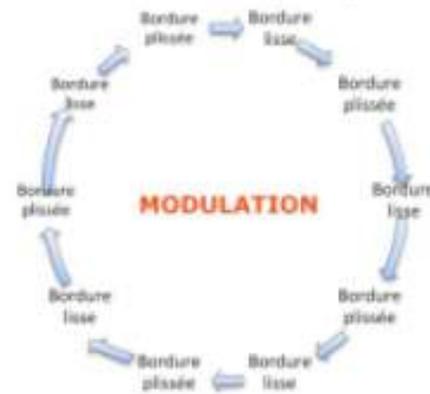
AMÉLOBLASTE DE MATURATION :

- ▶ Le rôle de la **modulation** est une balance entre l'**acidification** et la **neutralisation** du pH de l'**émail immature***, l'élimination des fragments **protéiques** et le transport du **calcium** vers l'émail pour permettre la **croissance** des cristaux.
- ▶ Pour que les cristaux croissent en **épaisseur**, il faut une **acidification** du milieu (**même si les cristaux se dissolvent mieux dans un milieu acide**) car cette croissance ne peut se faire que si les **nanosphères d'amélogénines** sont éliminées par la **MMP20** (produite en grande quantité pendant la **phase de maturation**), hors, les conditions optimales de la **MMP20** nécessitent un pH **légèrement acide**. **

AMÉLOBLASTE DE MATURATION :



Processus cyclique



Alternance 5 à 7 fois

80% à l'état plissé

20% à l'état lisse

AMÉLOBLASTE DE MATURATION :

- ▶ La **maturation** permet la croissance des cristaux :
- ▶ - épaisseur : **3,1 nm à 29 nm**
- ▶ - largeur : **25nm à 65 nm**

- ▶ L'émail mature ne contient **presque plus de protéines, ni d'eau** (réabsorbée par les améloblastes à bordure lisse) : **96% de cristaux, 3,2% d'eau et 0,8% de matière organique.**

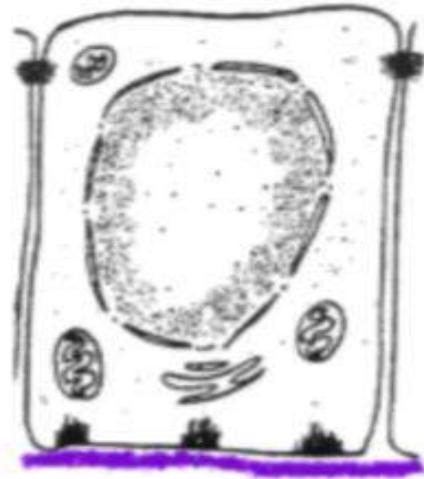


AMÉLOBLASTE DE PROTECTION :

- ▶ Il devient cubique, ses organites cellulaires diminuent mais il sécrète une lame basale à la surface de l'émail à laquelle il adhère par des hémidesmosomes.
- ▶ Les améloblastes de protection se confondent alors avec la couche papillaire et forment ainsi l'épithélium réduit de l'émail.
- ▶ Améloblaste de protection + couche papillaire = épithélium réduit de l'émail = améloblaste de protection + EDE + SI
- ▶ L'épithélium réduit de l'émail est donc un ensemble de cellules d'origine épithéliales composé de l'épithélium dentaire externe, du stratum intermedium et des améloblastes de protection.
- ▶ Son rôle est d'isoler l'émail du follicule dentaire tant que la dent n'est pas arrivée en bouche



AMÉLOBLASTE DE PROTECTION :



Les protéines de la matrice de l'émail :

- ▶ Enaméline
- ▶ Tuftéline
- ▶ Améloblastine
- ▶ Amélogénine
- ▶ Protéases (dès le stade sécréteur mais surtout au stade de maturation).



Conclusion :

- ▶ L'améloblaste est la seule cellule de l'organisme apte à former de l'émail, mais elle est très sensible aux changements de l'environnement
- ▶ (ex : un excès de fluor pendant l'amélogenèse provoque des perturbations de la fonction des améloblastes qui forment alors un émail altéré : fluorose).