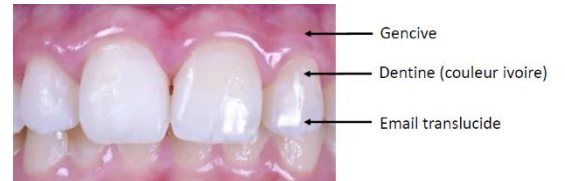


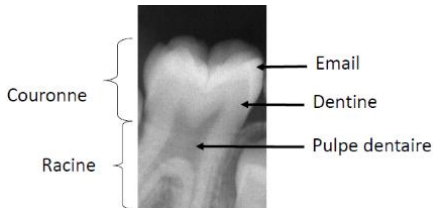
LA DENTINE

I – Généralités

Dans la cavité buccale, la dentine au niveau de la couronne est recouverte par de l'émail.
Ce dernier lorsqu'il est parfaitement minéralisé est translucide.
Ainsi, la **dentine de couleur ivoire** est visible par transparence.



La dentine est composée de **70% de minéral** (essentiellement des cristaux d'hydroxyapatite carbonaté), **20% de matière organique** (surtout du collagène de type 1) et de **10% d'eau**.
Sa composition est voisine de celle de l'os, mais sa structure est très différente.



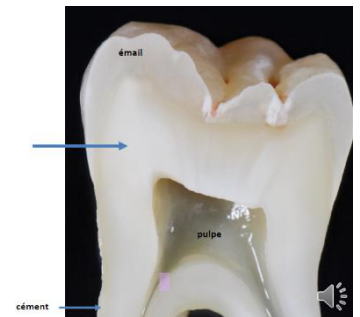
Comme on peut le voir sur la radio, la **dentine, moins minéralisée que l'émail**, est moins radio-opaque : elle apparaît **plus sombre**.

Rappel : plus c'est minéralisé, plus c'est radio-opaque, plus ça apparaît clair sur la radio.

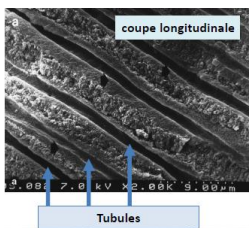
Elle est cependant **plus claire que la pulpe dentaire** qui elle n'est **pas minéralisée**.

La dentine est donc un tissu minéralisé. C'est l'un des 4 éléments constitutif de la dent, les trois autres étant : émail, pulpe dentaire et cément.

La dentine occupe le **volume le plus important de la dent**, elle est interposée entre d'une part entre l'émail/cément et d'autre part la pulpe dentaire (tissu conjonctif non minéralisé situé au centre de la dent, qui limite la dentine côté interne).

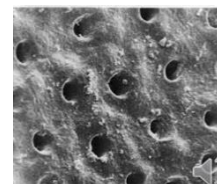


La dentine contient en périphérie les **odontoblastes** qui vont permettre la synthèse de la dentine.

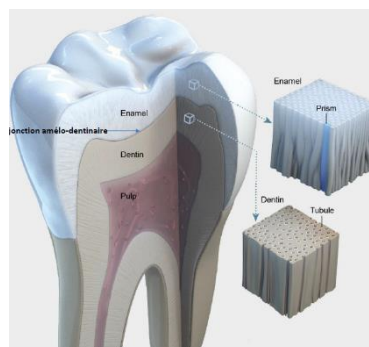


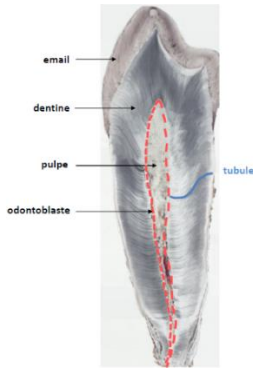
Quand on regarde la structure de la dentine au microscope, on voit qu'il s'agit d'une structure minéralisée parcourue dans sa longueur par des **dizaines de milliers de tubules parallèles les uns aux autres** (sortent de canaux ou tunnels).

En coupe **transversale**, ces tubules ont une section **arrondie**.



La structure microscopique de la dentine diffère de celle de l'émail qui elle est essentiellement parcourue par des prismes et de la SIP.



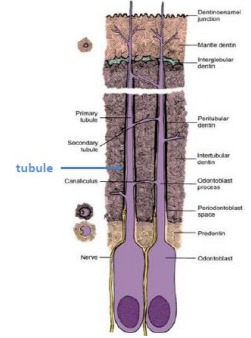


Sur cette coupe de dent, on peut visualiser le **trajet des tubules**.

Ils parcourent l'ensemble de l'épaisseur de la dentine : de la pulpe jusqu'à la JAD au niveau de la couronne et jusqu'à la jonction dentine-cément au niveau de la racine.

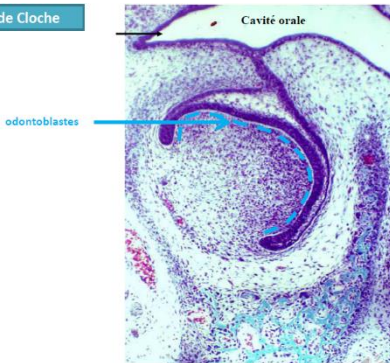
Ils contiennent les prolongements cytoplasmiques des odontoblastes, dont le **corps** se trouve au niveau de la **périphérie de la pulpe**.

Avec le temps, les **tubulis peuvent s'oblitérer** par des phénomènes de minéralisation intratubulaire.



II – Dentinogénèse

Stade de Cloche



La dentine a une **origine mésenchymateuse**.

Rappel : au stade de cloche, les odontoblastes sont issus des cellules périphérique de la papille mésenchymateuse en regard de l'EDI.

La dentinogénèse est la formation de la dentine par les odontoblastes.

Elle se fait en **deux étapes** : **1) synthèse et sécrétion de la prédentine**
2) dépôt du minéral

Elle résulte essentiellement de l'activité de synthèse, de la différenciation et de la dégradation des odontoblastes.

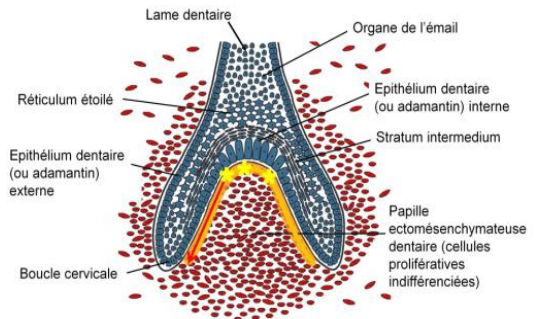
Contrairement à la formation de l'émail (limitée dans le temps), la **formation de la dentine peut se faire tout le long de la vie**.

A) Différenciation des odontoblastes

Ce schéma montre un germe dentaire à la fin du stade de cloche.

En périphérie de la PEM, sous l'EDI, on a les cellules qui vont se différencier en odontoblastes.

Cette **différenciation commence au sommet de la cloche** et va se diriger vers la zone cervicale (boucle cervicale) selon un **schéma temporo-spatial** précis.



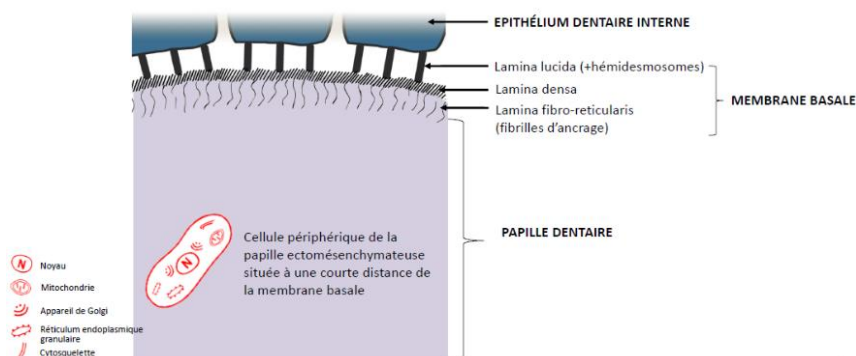
L'EDI est séparé de la PEM par la membrane basale dont la composition est :

→ La **lamina densa** : Constitue l'armature de cette MB

→ La **lamina lucida** : Permet l'attachement de l'EDI à la lamina densa par de nombreux hémidesmosomes

→ La **lamina fibroreticularis** : Assure l'attachement de la MB à la PEM par de nombreuses fibrilles d'ancrage

Ce sont les **cellules périphériques de la PEM**, situées à une **courte distance de l'EDI et de la MB** (quelques microns), qui vont se **transformer en odontoblastes**.



1) Formation de pré-odontoblaste

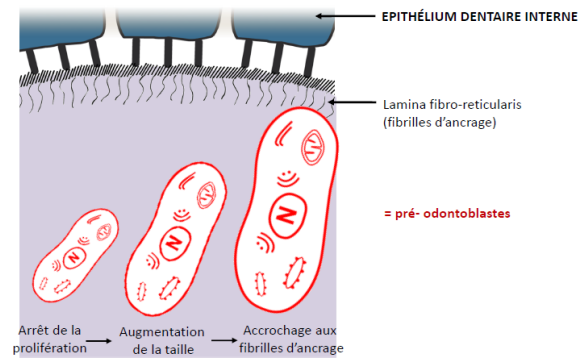
La 1^{ère} étape de la différenciation odontoblastique est +++ :

1) Arrêt de la prolifération cellulaire

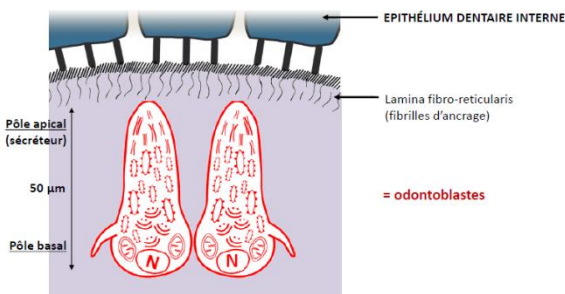
Ensuite on a :

2) Augmentation de la taille des cellules

3) Accrochage par leur membrane plasmique aux fibrilles d'ancrage sur la face EM de la MB : **pré-odontoblaste**



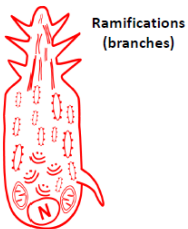
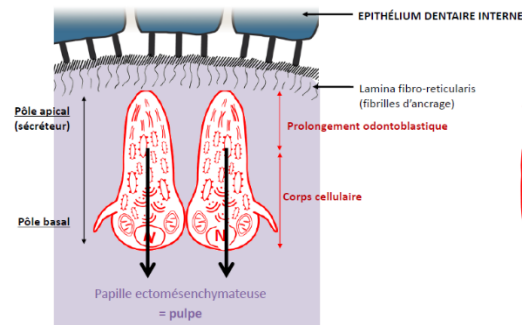
2) Polarisation odontoblastique



Le pré-odontoblaste se différencie ensuite en **odontoblaste**. Il commence par se **polariser** : le **noyau s'éloigne de la MB**, le REG et le Golgi se placent en supra-nucléaire.

3) Formation d'un prolongement au pôle apical

Un **prolongement se forme au pôle apical**, au contact des fibrilles d'ancrage. Son allongement entraîne le recul des corps cellulaires odontoblastiques en direction du centre de la papille ectomésenchymateuse (PEM). Dès la différenciation des premiers odontoblastes, la PEM prend le nom de pulpe dentaire.



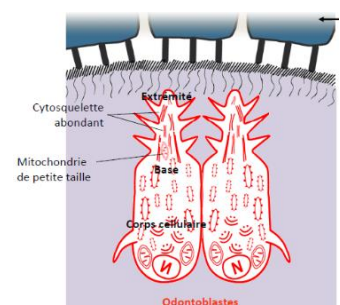
Le **prolongement se ramifie** rapidement pour donner de nombreuses branches qui s'étendent latéralement.

Le **prolongement contient un cytosquelette abondant**. Il ne contient **pas d'organites de synthèse** sauf quelques mitochondries de petite taille présentes à sa base, dans la région voisine du corps cellulaire.

Il contiendra plus tard, au moment de la production de la prédentine, des vésicules de sécrétion renfermant les constituants de la prédentine.

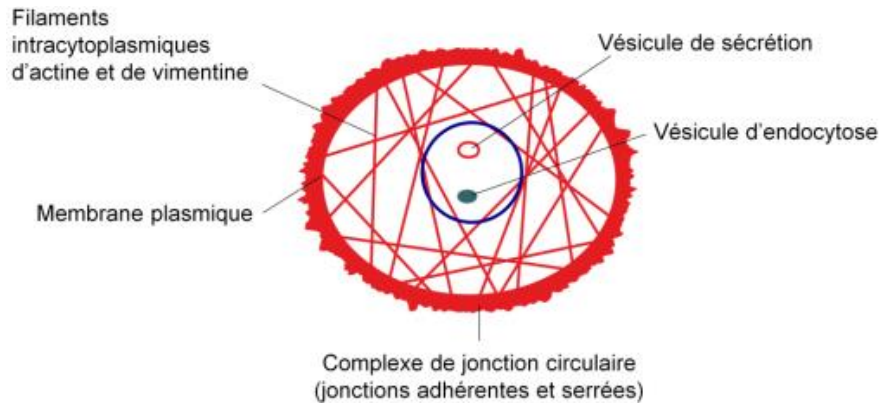
Puis, **pour la maturation** de cette dernière des **vésicules d'endocytose** contenant les fragments issus de la dégradation partielle de la prédentine → processus de maturation.

A la **limite entre le corps cellulaire et le prolongement** odontoblastique, de nombreux filaments d'actine et de vimentine viennent se fixer sur la **face interne** de la membrane plasmique : **Toile terminale**



La toile terminale fonctionne comme un filtre qui **maintient dans le corps cellulaire** les organites de **grande taille** (Golgi, REG, grosses mitochondries...) mais **laisse passer les vésicules sécrétion et d'endocytose qui sont de plus petit diamètre.** ++

Le passage des vésicules a lieu **dans la partie centrale** car la toile est plus lâche à ce niveau.
 A l'endroit de la membrane plasmique où s'accroche la toile terminale, on a un complexe circulaire de jonctions intercellulaires++. Il relie l'odontoblaste aux odontoblastes voisins et est constitué de jonctions adhérentes et de quelques jonctions serrées.

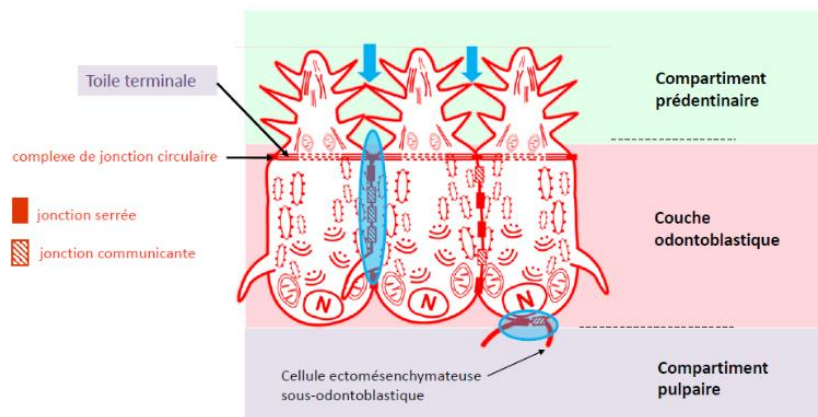


Les odontoblastes **ne travaillent pas de manière isolé**, ils fonctionnent ensemble grâce à des moyens de communication au niveau de jonctions.

En marge de la toile terminale, des jonctions serrées et jonctions communicantes apparaissent entre :

- les **odontoblastes.**
- les **odontoblastes et les cellules sous-odontoblastiques.**
- les **ramifications des prolongements odontoblastiques** entrent aussi en contact avec les ramifications des prolongements adjacents.

Ceci va permettre de créer **réseau tridimensionnel** à l'intérieur de la dentine pour que les odontoblastes puissent échanger des informations sur les modifications de leur environnement dentinaire.



L'apparition des jonctions inter-odontoblastiques conduit à la formation d'une couche cohésive de cellules : La **couche odontoblastique** (= **monocouche** d'odontoblastes), qui isole **la pulpe**, du compartiment extracellulaire proche de la MB dans lequel **la prédentine** va être déposée, puis minéralisée.

4) Odontoblastes sécréteurs (différenciation fonctionnelle)

Une fois la couche odontoblastique formée, les **odontoblastes se différencient sur le plan fonctionnel** et synthétisent les constituants de la prédentine qui sont sécrétés +++ :

- 1) **entre les fibrilles d'ancrage de la MB.**
- 2) **autour des prolongements odontoblastiques.**

En l'absence de pathologie dentaire, les odontoblastes déposent la prédentine **durant toute la vie de la dent**. Toutefois, la **vitesse de ce dépôt ralentit fortement après l'éruption de la dent** dans la cavité buccale, pour éviter le comblement et la disparition prématurée de la pulpe.

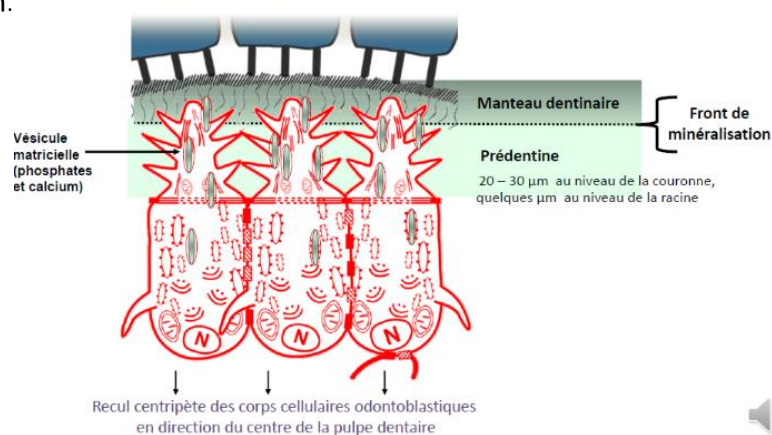
Une fois sécrétée, la prédentine subit une **maturation**, puis elle se **minéralise** dans la partie la plus éloignée du corps cellulaire, entre les fibrilles d'ancrage, là où la maturation est terminée.

Rappel chronologie : 1. *Sécrétion prédentine* 2. *Maturation* 3. *Minéralisation* → *Dentine*

Cette première couche de dentine est appelée **manteau dentinaire**. Les ions phosphates et calcium nécessaires à la minéralisation sont apportés par des vésicules matricielles issues du prolongement odontoblastique.

La minéralisation débute lorsque la prédentine atteint une épaisseur d'environ 20-30 µm au niveau de la couronne et quelques microns à la racine.

L'interface entre la prédentine, non minéralisée, et la dentine, minéralisée, est appelée : **Front de minéralisation**.



La croissance en épaisseur de la dentine, entraîne le **recul centripète du corps cellulaire odontoblastique** en direction du centre de la pulpe dentaire.

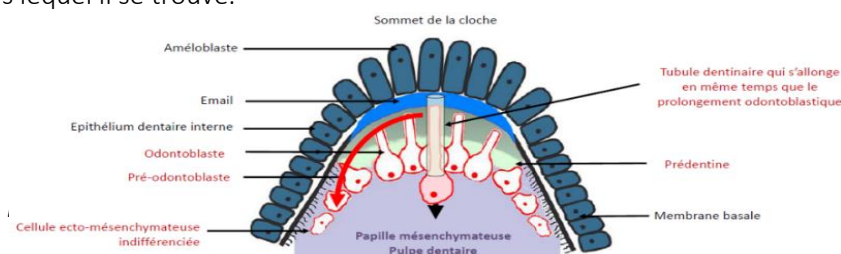
La **production de dentine commence au sommet des cuspidés**, pour se poursuivre en direction du collet des dents.

A propos du schéma : il illustre le gradient temporo-spatial de différenciation odontoblastique qui **commence au sommet de la cloche** (*elle répète*) pour se diriger vers la boucle cervicale.

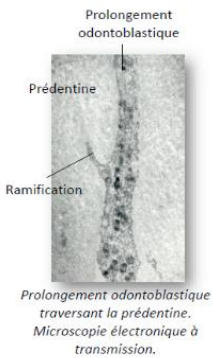
Au sommet on retrouve des odontoblastes, puis les pré-odontoblastes et les cellules ecto-mésenchymateuse indifférenciées.

Il montre également comment le dépôt continu de prédentine repousse le corps cellulaire de l'odontoblaste vers le centre de la pulpe.

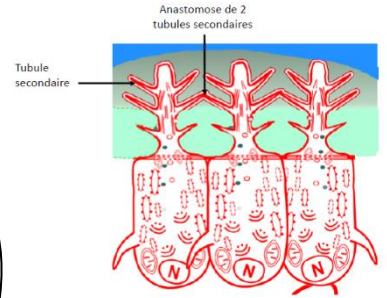
Ce phénomène s'accroît progressivement et on a une augmentation de la taille du prolongement ainsi que du tubule dentinaire dans lequel il se trouve.



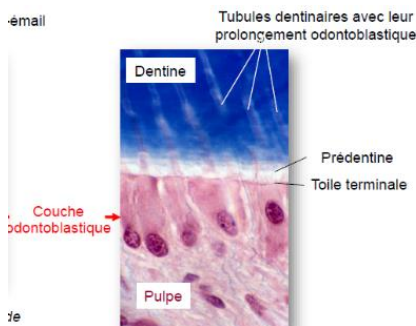
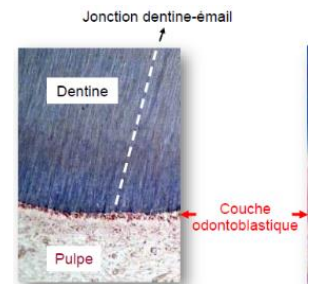
Aux tubules s'ajoutent des tubules secondaires autour des ramifications des prolongements principaux. La plupart des tubules sont anastomosés avec les tubules voisins.



Sur cette image en microscopie électronique, on peut voir une ramification du prolongement qui s'étend dans la prédentine.



Cette coupe histologique nous montre l'alignement parallèle des nombreux tubules qui parcourent la dentine depuis la couche odontoblastique en direction de la JAD.



Cette autre coupe, montre le prolongement odontoblastique dans chacun des tubules.

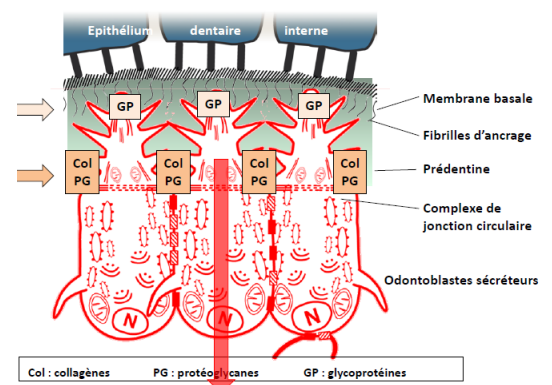
III – Composition et maturation de la matrice dentinaire

La **matrice dentinaire** contient essentiellement du **collagène 1**, mais aussi en quantité relativement importante des **glycoprotéines non-collagéniques** impliquées dans la minéralisation et en plus faible quantité d'autres types de collagène, protéoglycanes, métalloprotéases matricielles, facteurs de croissance et divers composants (protéines de l'émail, protéines sériques et phospholipides).

Il existe deux sites principaux pour la sécrétion des constituants de la prédentine par les odontoblastes +++ :



- A la **base du prolongement** à proximité du corps cellulaire :
 - **collagène + protéoglycanes**
- A l'**extrémité du prolongement** à proximité des fibrilles d'ancrage entre lesquelles la première couche de minéral va être déposée :
 - **glycoprotéines** qui régulent la minéralisation de la prédentine

Au fur et à mesure de la synthèse de la prédentine et du déplacement du front de minéralisation vers le centre de la pulpe, ce **site de sécrétion va se déplacer le long du prolongement** pour rester au niveau du front de minéralisation.

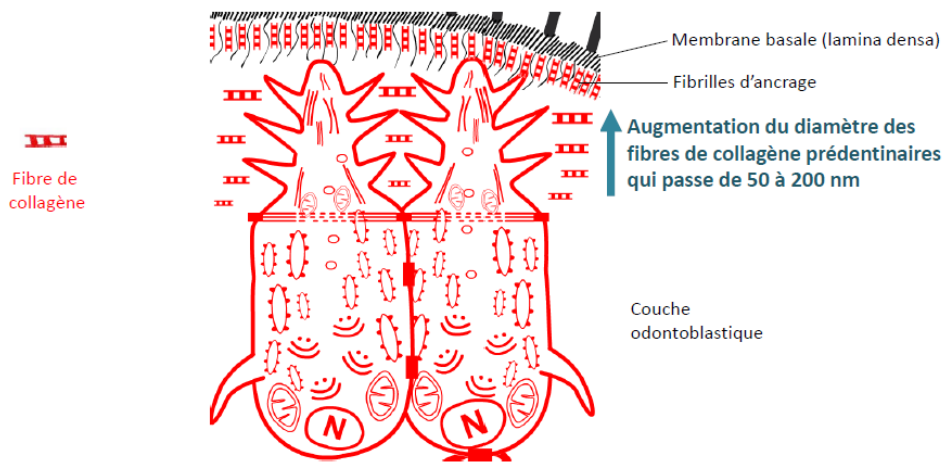


A) Le collagène

En fonction de leur localisation au sein de la prédentine, il existe des différences de taille et d'orientation des fibres de collagène 1 :

| | Prédentine entre fibrilles d'ancrage (première couche) | Prédentine autour des prolongements |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Taille des fibres de collagène | Petites | Grosses |
| Orientation par rapport aux fibrilles d'ancrage | Parallèles | Perpendiculaires |
| Rôle | Renforce la cohésion entre la dentine et la 1^{ère} couche d'émail qui sera déposée sur le manteau dentinaire .  | Confèrent au tissu une certaine élasticité qui lui permet d' amortir les chocs que subit la dentine lors de la mastication .  |

Au cours du processus de maturation de la prédentine, nous avons une **augmentation progressive de la taille des fibres de collagène 1** autour des prolongements.



IV – Minéralisation de la matrice dentinaire

La matrice dentinaire **une fois déposée** puis remaniée lors de la phase de **maturation** va être **minéralisée** pour former la dentine.

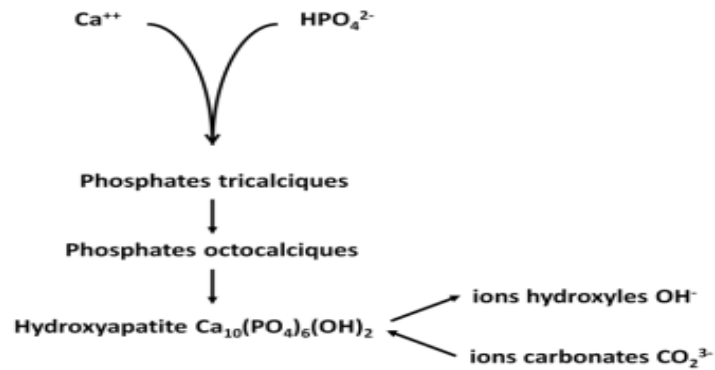
Au final, ça sera un tissu qui contiendra **70% de minéral**. Comme pour l'émail, le ciment ou l'os, on va avoir un dépôt de sels minéraux essentiellement sous forme d'HA.

L'Hydroxyapatite : cristal formé principalement **d'ions calcium et phosphates** qui s'associent pour former phosphates tricalciques → puis des phosphates octocalciques et → de l'hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$).

L'HA rencontrée dans les tissus minéralisés comme la dentine n'est pas pure.

Une partie des ions hydroxydes est remplacée : elle est substituée par des ions carbonates (d'où le terme : **hydroxyapatite carbonatée**).

La formation de l'hydroxyapatite nécessite une quantité importante d'ions calcium et phosphates dans la prédentine au niveau du front de minéralisation.



A) Transport du calcium à travers la couche odontoblastique

Au cours de la dentinogénèse une quantité importante de calcium est transportée à travers la couche odontoblastique **depuis les capillaires sanguins sous-odontoblastiques jusqu'à la prédentine.**

Les odontoblastes étant reliés par des **jonctions serrées peu perméables au calcium**, la majeure partie de cet ion transite par le cytoplasme odontoblastique.

Il existe différents mécanismes permettant ce transport :

→ Le premier fait appel à **des vésicules d'endocytoses** capables de se déplacer jusqu'au **pôle apical**

→ Le second fait appel à **des canaux calciques** de la membrane cellulaire :

- Le calcium a la possibilité de se déplacer en liant **protéines de liaison (calcium binding proteins (CaBP))** comme les **calbindines-D (9-28 kDa)** dans le cytoplasme.

- Soit il se lie à des protéines acides de la membrane : Les **annexines** qui **lient fortement le calcium** et les **phospholipides membranaires** et sont capables de se **déplacer** le long du feuillet interne de la membrane plasmique.

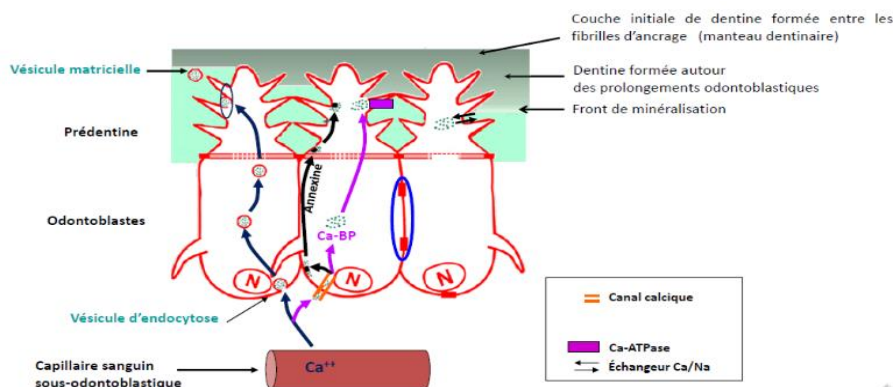
La **sortie** du calcium se fait différemment en fonction du lieu de minéralisation de la prédentine :

→ **Entre les fibrilles d'ancrage** : **calcium** stocké dans des **vésicules** qui bourgeonnent à partir de la membrane plasmique du prolongement odontoblastique (**vésicules matricielles**) ++++

A l'**intérieur** de ces vésicules à lieu la **formation des cristaux d'hydroxyapatite.**

→ **Autour des prolongements odontoblastiques**, il n'y a **PAS** de formation de **vésicule matricielle** et le **calcium sort directement** de la cellule **dans la matrice pré-dentinaire** +++.

Le calcium sort par **Ca-ATPases** ou des **échangeurs sodium/calcium** situés dans la membrane du **prolongement odontoblastique** à proximité du **front de minéralisation.**

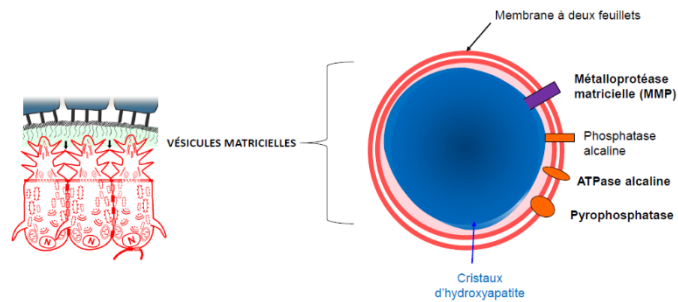


B) Minéralisation de la prédentine déposée entre les fibrilles d'ancrage

La minéralisation ne débute pas de la même manière en fonction de l'endroit dans lequel on se trouve.

La minéralisation entre les fibrilles d'ancrage dépend de la formation de cristaux d'HA, à partir d'ions calcium et phosphate contenus à l'intérieur de **vésicules matricielles**.

Elles sont limitées par une membrane à **deux** feuilletts dans laquelle on trouve de nombreuses **enzymes**, notamment les **métalloprotéases matricielles**, **Phosphatases Alcalines**, **ATPases Alcalines** et **PyroPhosphatases** (contribuant à la formation d'ions phosphates).



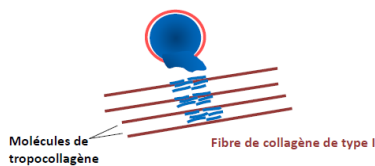
Les **vésicules matricielles** concentrent également une quantité importante de **calcium**. Il se forme alors des **cristaux de phosphates de calcium** qui se transforment en **hydroxyapatite**.

Les cristaux d'hydroxyapatite sont d'abord formés :

→ **A proximité du feuillet interne** de la membrane vésiculaire, en relation avec les phospholipides membranaires

→ **Mais aussi au centre** des vésicules, en relation avec des molécules qui lient le **calcium** comme les **calbindines**

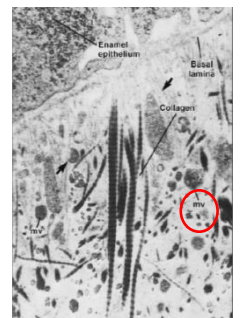
La formation des **cristaux supplémentaires** entre ces deux sites conduit au **remplissage** des vésicules.



Lorsque la vésicule est pleine, le minéral perce la membrane et se dépose à l'intérieur des fibres de collagène pour former des **nodules** à partir desquels la minéralisation se propage.

Les cristaux s'orientent de telle sorte que leur **axe longitudinal est parallèle à celui de la fibre** avec laquelle ils s'associent.

Sur cette coupe au ME, on peut voir les vésicules matricielles (mv), qui s'entremêlent au fibrilles de collagène dans lesquels se produit une minéralisation initiale de la matrice dentinaire.

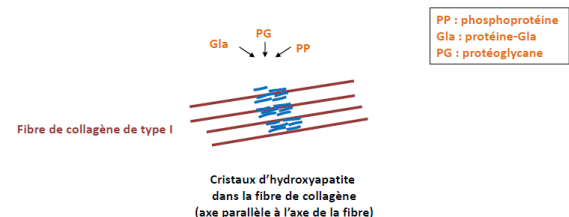


C) Minéralisation de la prédentine autour des prolongements odontoblastiques

La minéralisation autour des prolongements odontoblastiques a lieu **directement dans la matrice** car il n'y a **pas de vésicules matricielles dans la prédentine à ce niveau !**

Les cristaux d'hydroxyapatite se forment directement à l'intérieur des fibres de collagène 1.

Les phosphoprotéines, les protéines-Gla et les protéoglycane (sécrétées à la base du prolongement) régulent la formation et la croissance du minéral.



La complexité de la structure de la dentine en fait un matériel organique capable de résister à d'importantes contraintes physiques.