

Anatomie des tissus dentaires

Toutes les dents de mammifères partagent une structure similaire :

- L'émail ;
- La dentine située sous l'émail ;
- La pulpe, l'organe qui contient les cellules responsables de la dentinogénèse et qui contient l'innervation et vascularisation ;
- La racine, qui contient le canal radiculaire, est entourée par une fine couche de ciment ;
- Le ligament parodontal, qui fait partie de l'alvéole dentaire et unit le ciment à l'os alvéolaire.

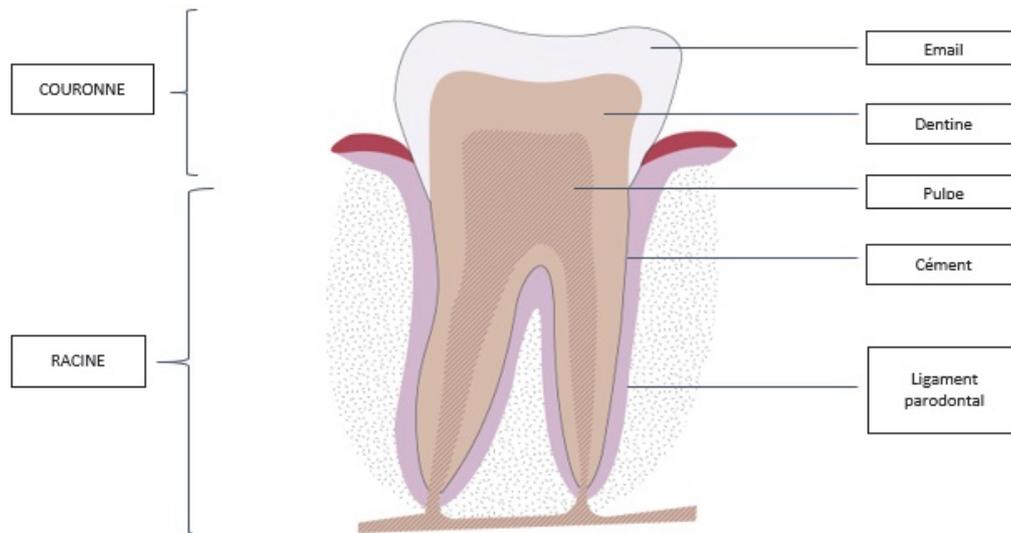


Figure 1 - Structure de la dent - Laura Girard

II.1 Histologie

II.1.1 Email

II.1.1.1 Anatomie

L'émail dentaire est la substance la plus dure et la plus minéralisée du corps humain.

Il forme la couche extérieure de la couronne dentaire et constitue une barrière isolante qui protège la dent des agressions physiques, thermiques et chimiques qui nuiraient à la pulpe sous-jacente.(7)

L'émail est constitué par la juxtaposition de structures élémentaires ou prismes. Ces prismes sont des cordons minéralisés d'hydroxyapatite qui parcourent l'émail de la jonction amélo-dentinaire à la surface de la dent.

Ils ont une section en trou de serrure ; une partie renflée ou cœur des prismes d'où se prolonge une partie mince ou queue des prismes. Les prismes sont imbriqués les uns dans les autres, et leur diamètre est d'environ 7 μm . Ils sont arrangés entre eux de telle sorte que le cœur d'un prisme est logé entre les queues de deux prismes sous-jacents.

Dans la portion centrale de l'émail, on note une alternance de prismes en section transversale et d'autres en section longitudinale réalisant l'alternance d'images claires et sombres : ce sont les bandes de Hunter-Schreger. Dans le tiers externe de l'émail, le trajet des prismes devient progressivement rectiligne, ils sont alors parallèles entre eux et perpendiculaire à la surface dentaire.

La substance inter prismatique se localise entre les prismes de l'émail. Elle est moins minéralisée et plus riche en substance organique que les prismes. Les cristaux d'hydroxyapatite y sont de taille plus réduite et sont disposés obliquement.

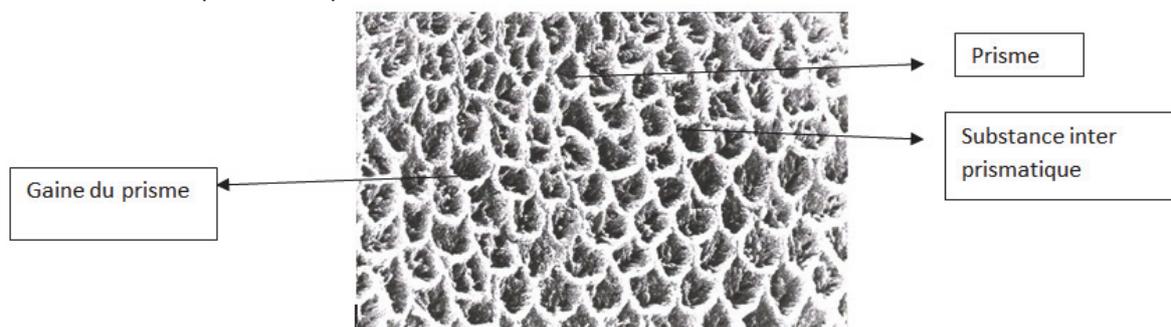


Figure 2 - Microscopie électronique des prismes (8)

II.1.1.2 Formation de l'émail

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1 – améloblaste pré-sécréteur | — émail aprismatique interne |
| 2 – améloblaste sécréteur sans prolongement de Tomes | ■ émail prismatique immature |
| 3 – améloblaste sécréteur avec prolongement de Tomes | ■ émail en cours de maturation |
| 4 – améloblaste de maturation | ■ émail mature |
| 5 – améloblaste de protection | ■ dentine |

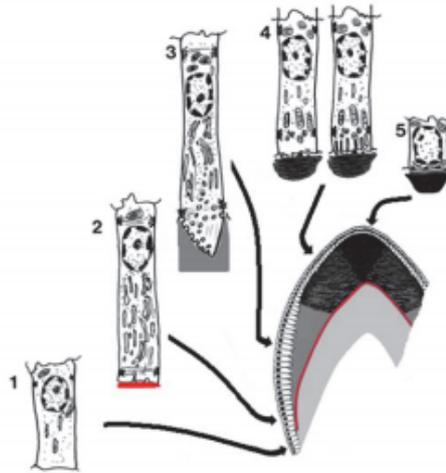


Figure 3 - Maturation de l'émail – Dr Brigitte Alliot- Licht (9)

Le processus de formation de l'émail s'appelle l'**amélogénèse**. Chaque prisme est formé par un améloblaste. Les protéines de la matrice amélaire sont sécrétées par les améloblastes dans l'espace amélaire et y sont ensuite dégradées et retirées par protéolyse avec un grand degré de précision. Les améloblastes régulent ainsi la formation de novo de substance inorganique à base d'hydroxyapatite. En pourcentage de poids, l'émail mature est composé à **95 % de matière minérale, 1 à 2 % de matière organique et 2 à 4 % d'eau**.(7)

Des défauts de développement ou environnementaux peuvent affecter la structure de l'émail, cela étant visible par un changement de son opacité et/ou de sa couleur.

Ces défauts sont critiques car, à la différence de l'os, une fois minéralisé l'émail est acellulaire, et de ce fait n'est pas capable de se remodeler une fois formé(7) .

II.1.2 La dentine

II.1.2.1 Anatomie

A poids égal, la dentine est moins minéralisée que l'émail, mais plus que l'os ou le ciment.

La dentine est un puzzle de différents types de dentine, ayant différentes fonctions et spécificités (10).

La dentine est composée de **70% de minéral, 20 % de matrice organique et 10% d'eau** (11).

Anatomiquement, il est possible de distinguer au sein de la masse dentinaire :

- La **jonction amélo-dentinaire**
- La **jonction cémento-dentinaire**
- La **couche dentinaire périphérique** : elle est constituée par le manteau dentinaire qui est une couche hypo minéralisée, dépourvue de tubuli sécrétée aux premiers stades de la dentinogénèse ainsi qu'une fine couche de dentine canaliculaire.
- La **couche dentinaire circumpulpaire** : il s'agit d'une zone hypo minéralisée dans laquelle se trouvent des canalicules larges reliés entre eux par des espaces créés par les ramifications secondaires des prolongements odontoblastiques nécessaires aux échanges. Elle se compose de dentine **inter-caniculaire**, et de dentine **péri-caniculaire** voire **intra-caniculaire**. Cette dernière, déposée secondairement en périphérie du tubulus, réduit progressivement le diamètre de sa lumière.(12)

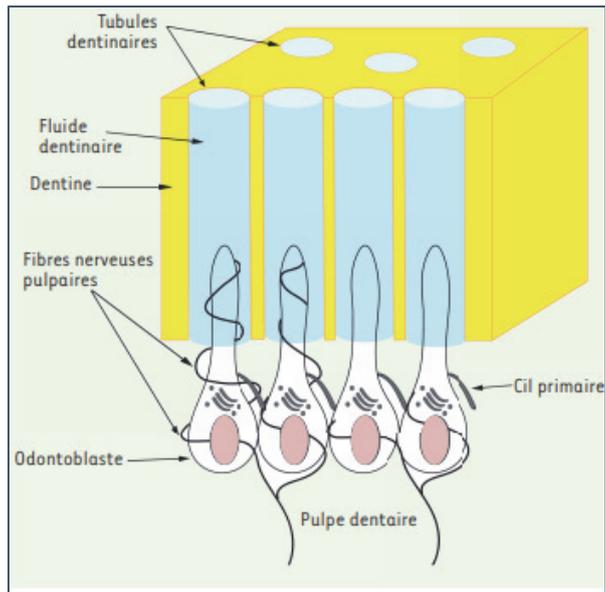


Figure 4 - Architecture et innervation du complexe dentino-pulpaire (13)

Les odontoblastes sont des cellules polarisées, allongées. Les corps cellulaires odontoblastiques sont situés en périphérie du tissu pulpaire, tandis que les prolongements cellulaires cheminent au sein de la dentine, à l'intérieur des tubules dentinaires. Les prolongements baignent dans le fluide dentinaire. Les fibres nerveuses sensibles enserrant les corps cellulaires des odontoblastes, et certaines d'entre elles cheminent à l'intérieur des tubules dentinaires au contact des prolongements odontoblastiques (13). La dentine humaine n'est pas vascularisée (10).

II.1.2.2 Formation

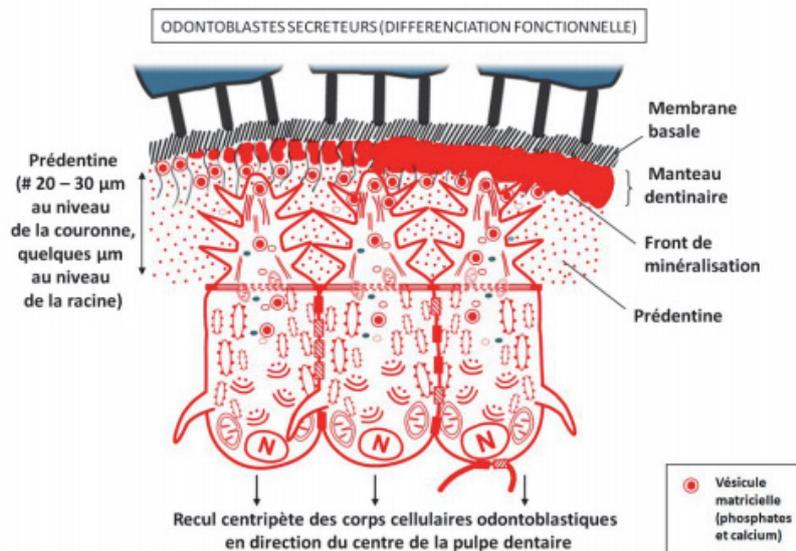


Figure 5 - Formation de la dentine par les odontoblastes sécrétoires - Dr JC Farges (11)

Histologiquement, on appelle **dentine primaire** la dentine formée au cours de l'odontogenèse jusqu'à la mise en occlusion de la dent. Les *odontoblastes* sécrètent la dentine tout au long de la vie de la dent. On appelle alors **dentine secondaire**, la dentine formée par les *odontoblastes de première génération* après la mise en occlusion de la dent, en l'absence d'agression. Ces dentines comportent des tubuli, elles sont dites canaliculaires.(12)

Histologiquement, la **dentine tertiaire** résulte d'une dentinogénèse cicatricielle à la suite d'une agression de l'organe dentaire. On distingue deux types de dentine tertiaire :

- La **dentine réactionnelle**, secrétée par les odontoblastes de première génération survivants. De nature canaliculaire, secrétée lentement, cette dentine tertiaire est observée en cas de lésions superficielles, et de lésions à progression lente (3,14). Elle fait continuité avec la dentine secondaire existante. Histologiquement, la zone de stimulation odontoblastique est délimitée par une ligne dite calcio-traumatique.
- La **dentine réparatrice** est secrétée lorsque la couche odontoblastique de première génération est détruite en cas d'agression plus sévère. Sa sécrétion est rapide et sa nature est atubulaire. Elle est donc non perméable aux stimuli externes et peut ainsi bloquer l'entrée d'irritants dans la pulpe. Sa sécrétion est issue des odontoblastes de première génération bordant la zone agressée et non atteints par l'agression, ainsi que par la différenciation de cellules filles non odontoblastiques issues de la dernière mitose odontoblastique et de cellules souches en attente ("stem-cells") de la couche de Höhl, sous l'action de signaux moléculaires tels que les facteurs de croissance. Après exposition pulpaire, la mise en place d'un matériau approprié permet l'apparition d'un pont dentinaire en quelques semaines.(12,15)

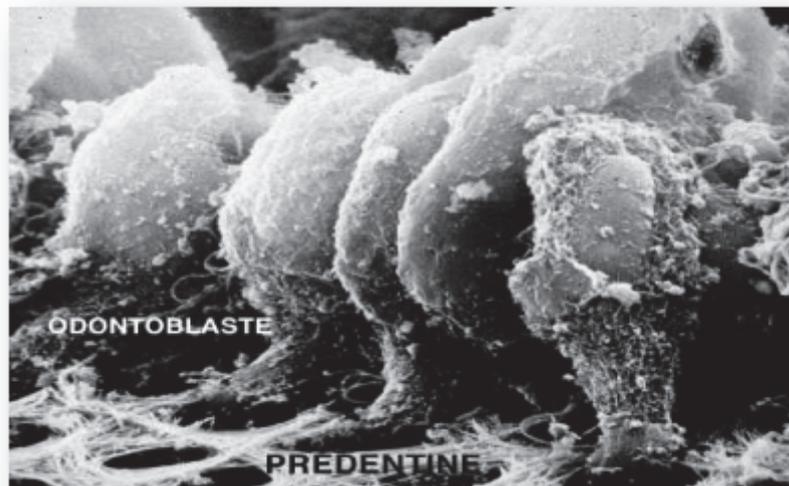


Figure 6 - Odontoblastes en microscopie électronique à balayage - Dr Barbottin (16)

II.1.3 La pulpe, anatomie & formation

La pulpe dentaire est un tissu mésenchymateux hautement spécialisé qui dérive des cellules de la crête neurale (l'ectomésenchyme). La prolifération et la condensation de ces cellules amènent à la formation de la papille dentaire, de laquelle dérive la pulpe mature.

La pulpe dentaire est caractérisée par la présence d'odontoblastes et par le fait qu'elle est entourée par un ensemble de tissus rigides minéralisés comprenant l'émail, la dentine, le cément. Ces tissus fournissent à la pulpe un support mécanique et une protection contre l'environnement oral riche en bactéries. Le confinement physique de la pulpe, sa grande quantité d'innervation sensorielle et la riche microcirculation émanant de la région apicale font de la pulpe un tissu unique.(15)

Si cette coquille rigide perd son intégrité structurelle, comme dans le cas de caries, de fêlures, de fractures, ou de joints de restauration non étanches, cela crée un chemin pour les micro-organismes et leurs toxines vers la pulpe. Tout dommage mécanique, chimique, thermique ou microbien active des réponses inflammatoires variées.(17)

La pulpe répond à l'irritation par une inflammation, qui, si elle n'est pas traitée, peut évoluer vers une nécrose pulpaire puis une infection.

L'inflammation peut aussi s'étendre à l'os alvéolaire alentour et causer une pathologie périapicale. (15)

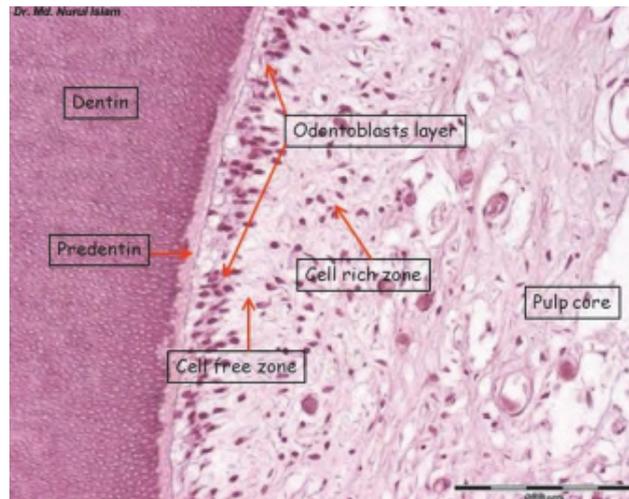


Figure 7 - Coupe histologique de la jonction email /dentine (18)

La couche odontoblastique est la couche la plus proche de la dentine. La couche acellulaire de Weil contient quelques cellules (principalement des fibroblastes), ainsi que des réseaux vasculaires et nerveux. La couche de Höhl ou zone riche en cellules contient un nombre de vaisseaux, de nerfs et de cellules (fibroblastes, cellules dendritiques et cellules souches) plus important que dans la couche de Weil. (18)

II.2 Intérêt de la conservation de la vitalité pulpaire

Les intérêts de la conservation de la vitalité pulpaire :

- Une dent dépulpée présente une **moins bonne résistance** à la mastication due aux pertes de substance et donc des fractures plus régulières(19–21)
- Maintien de **l'intégrité apicale** (3)
- Evite un **changement de teinte** (22)
- Conservation de la **fonction de défense** (3,23) :
Dans les dents pulpées, les tubules dentinaires sont occupés par le fluide dentinaire et les processus odontoblastiques, qui agissent ensemble comme un hydrogel chargé positivement. Cet hydrogel est capable d'arrêter un grand nombre de bactéries. Le flux vers l'extérieur du fluide dentinaire est important dans la défense contre l'entrée de substances car il affecte la diffusion des toxines et des bactéries à travers les tubules.
De plus, des anticorps et autres agents anti-microbiens peuvent être présents dans le fluide dentinaire en réponse à une infection bactérienne de la dentine.
La possible formation de complexes immuns et la précipitation de protéines plasmatiques a haut poids moléculaire, comme le fibrinogène, dans le fluide dentinaire peut réduire le rayon opérationnel du tubule dentinaire et ainsi réduire la **perméabilité dentinaire**. (15).
La pulpe est également équipée de composants cellulaires nécessaires pour la reconnaissance initiale et la fabrication d'antigènes qui en découle.
(15)
- Conservation de la **sensibilité / signal d'alarme** (3,22). La pulpe est aussi un organe sensitif. Sa sensibilité aux stimuli thermiques est bien connue. Peu importe la nature du stimulus sensoriel, que ce soit un changement de température, une déformation ou traumatisme mécanique, la pulpe l'enregistre comme une sensation commune : la douleur. Cette capacité à enregistrer la douleur est importante dans les mécanismes de défense de la pulpe. Les patients avec une inflammation pulpaire ont tendance à solliciter plus tôt le traitement, tant que l'inflammation est confinée à la dent, par opposition aux patients chez qui la dent a été

dépulpée, chez qui la douleur ne sera pas ressentie jusqu'à ce que des dommages aient été faits aux tissus environnants la dent. (15)

- Conservation de la **proprioception** qui limite la charge imposée sur les dents par les muscles masticatoires, protégeant ainsi la dent.(15)(3) Malgré le manque de preuves claires sur les mécanismes mis en jeu, l'absence de la pulpe dentaire entraîne une diminution de la réactivité face aux stimulations mécaniques de la dent, diminuant ainsi sa sensibilité proprioceptive. En effet, une dent dépulpée requiert 2.5 fois plus de forces pour enregistrer une réponse proprioceptive qu'une dent vitale.(21)
- Conservation du **pouvoir dentinogénique** (3) : Les cellules spécialisées de la pulpe, les odontoblastes, et peut être des cellules mésenchymateuses indifférenciées (qui peuvent se différencier en cellules productrices de dentine si elles sont stimulées) conservent la capacité de former de la dentine au cours de la vie. Cela permet à la pulpe saine de compenser partiellement la perte d'émail ou de dentine causée par des caries ou par l'usure, via la formation d'une barrière de tissu dur qui isole la pulpe des stimuli. La dentine secondaire est déposée de façon circonscrite à un faible rythme au cours de la vie d'une dent normale.(15)
- **Réduction des interventions** inhérentes aux risques de réinfection après traitement endodontique (3,23).

III- Maladie carieuse

III.1 Définition

La carie dentaire est une infection commune(24) ; c'est l'une des maladies chroniques les plus prévalentes dans le monde, affectant 60 à 90% des enfants scolarisés (25).

La carie est une maladie évolutive et multifactorielle (facteurs biologiques, comportementaux, psychosociaux, et environnementaux.(26)). Elle est modulée par l'alimentation, et est intimement liée à la présence de biofilm entraînant une perte de minéralisation des tissus durs dentaires et donc à la formation de lésions carieuses (6). En effet, la carie est le résultat d'un déséquilibre au sein du biofilm avec une **acidification du biofilm**, après une prise régulière de carbohydrates. (3-5)

La carie dentaire est composée sur le plan bactériologique d'une association complexe de bactéries dont les plus caractéristiques sont les **lactobacilles et streptocoques**.(27)

Le schéma de Keyes (figure 8) montre l'enchevêtrement des différents facteurs à l'origine de la formation de lésions carieuses.

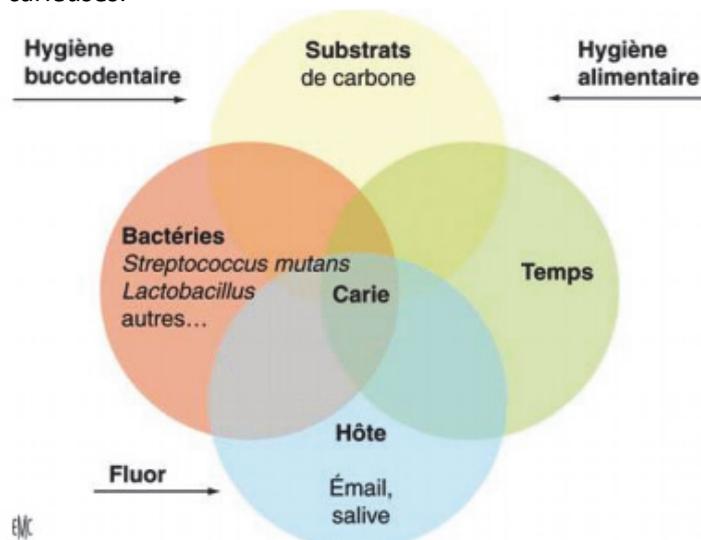


Figure 8 - Schéma de Keyes

III.2 Le biofilm dentaire

Les tissus durs dentaires exposés à l'environnement oral (couronne dentaire et racine à la suite d'une récession gingivale) sont la cible du processus carieux. Cependant, en l'absence de biofilm cariogène et d'une exposition fréquente aux sucres fermentescibles les caries ne peuvent pas survenir.(28,29)

Le biofilm dentaire est composé de micro-organismes non invasifs, commensaux, qui adhèrent aux surfaces dentaires. Ces microorganismes sont intégrés dans une matrice extracellulaire de polymères.(26)

Les bactéries du biofilm sont métaboliquement actives et libèrent des acides organiques qui provoquent des fluctuations de pH au sein du biofilm. Ceci peut engendrer **une déminéralisation des tissus dentaires quand le pH diminue ou une reminéralisation quand le pH augmente.**

La **courbe de Stephan** (30) schématise ces fluctuations de pH selon le temps, après une exposition aux sucres fermentescibles. La courbe de Stephan peut être divisée en différentes phases, chacune d'entre elles représentant une étape de la réponse physiologique au sein du biofilm (figure 9) :

- La phase de repos, valeur du pH initial (A) lorsque le biofilm est non exposé aux sucres pendant 12 h ou plus ;
- La baisse initiale (B) de la valeur du pH après l'exposition aux sucres ; l'ingestion de sucre abaisse en deux ou trois minutes le pH initial (6.5 -7) du biofilm en-dessous de la valeur de **pH critique 5.5** (31).
- Le moment où le pH est inférieur au "pH critique" (C). À partir de 5.5, l'hydroxyapatite de l'émail commence à se dissoudre. Cet abaissement du pH peut persister de 20 à 40 minutes avant de remonter à sa valeur initiale.
- La phase de récupération (D)

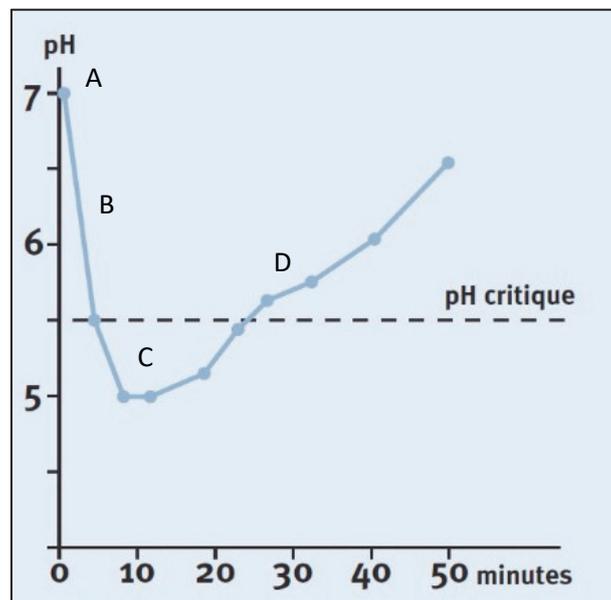


Figure 9 - La courbe de Stephan, (32)

Dans les zones de stagnation, le risque de développer une lésion carieuse est plus important (3,33). Si ce biofilm est enlevé ou désorganisé, totalement ou en partie, la déminéralisation peut être arrêtée ou inversée vers une reminéralisation. **Ainsi, une désorganisation régulière du biofilm peut arrêter les lésions initiales.** (6)

Le résultat de ce processus peut être une nette déminéralisation, conduisant à une dissolution des tissus durs dentaires. Si le stade de cavitation est atteint, alors le processus ne sera plus réversible et une thérapeutique de carie cavitaire devra être mise en place.

III.3 Biologie et dynamique du front carieux

Dans les lésions carieuses cavitaires, la déminéralisation est toujours causée par les acides organiques issus du métabolisme bactérien. **Streptococcus mutans** est prépondérant dans les caries superficielles, alors que **Lactobacillus casei** est prédominant dans les caries profondes. (34)

Les **protéases produites par les bactéries cariogènes**, que l'on croyait responsables de la dégradation de la matrice organique dentinaire, se sont avérées être très sensibles au pH. C'est pourquoi le rôle potentiel des **protéases dérivées de l'hôte** telles que les cathepsines ou les **métalloprotéinases matricielles (MMPs)** dans la dégradation de la matrice dentinaire a été introduit.(35–37)

Les MMPs sont des enzymes endogènes dépendantes au **Zn²⁺ et Ca²⁺** naturellement présentes en tant que proformes inactives dans la dentine. Elles peuvent être réexposées et potentiellement activées durant le processus carieux dentinaire du fait de l'environnement acide créé par des acides bactériens. Un pH faible amène au clivage du prodomaine et ceci facilite l'activité fonctionnelle des MMPs.(35,38) Cela explique que des anti-MMPs ont été développés ces dernières années.

Concernant la réponse pulpaire il n'y a pas de corrélation absolue avec les symptômes et signes cliniques. La pulpe peut s'inflammer bien avant que les bactéries l'aient physiquement atteint. Des caries superficielles des puits et sillons peuvent ainsi causer une inflammation pulpaire.

Cette inflammation semble être provoquée par les **antigènes bactériens** (toxines, enzymes, chemotoxines ou acides organiques) et **des produits issus de la dégradation tissulaire** qui peuvent diffuser vers la pulpe via les tubules dentinaires (34). Les tissus pulpaire répondent à une atteinte dentinaire en apposant une matrice de dentine tertiaire (réactionnelle au réparatrice) sous le site de la lésion. Cette réponse dépend de plusieurs facteurs, tels que la vitesse de propagation bactérienne et de la progression de la carie, qui peut être lente, rapide ou complètement inactive.(15)

Il n'est pas possible de déterminer objectivement le niveau précis d'activité de la lésion carieuse, c'est pourquoi le jugement clinique et des mesures subjectives sont utilisés.

Une lésion **active à progression rapide** présente généralement une couleur jaune clair/beige, et une texture de surface humide et molle.

Une lésion **active à progression lente**, tend à être plus foncée, avec une couleur plus proche du marron. Une telle lésion est sèche et plus ferme à la sonde.

Lorsque les caries ne sont plus actives, et qu'on les pense **arrêtées**, la couleur est plus foncée, il n'y a plus d'humidité, et il est impossible de pénétrer les tissus à la sonde.(3)

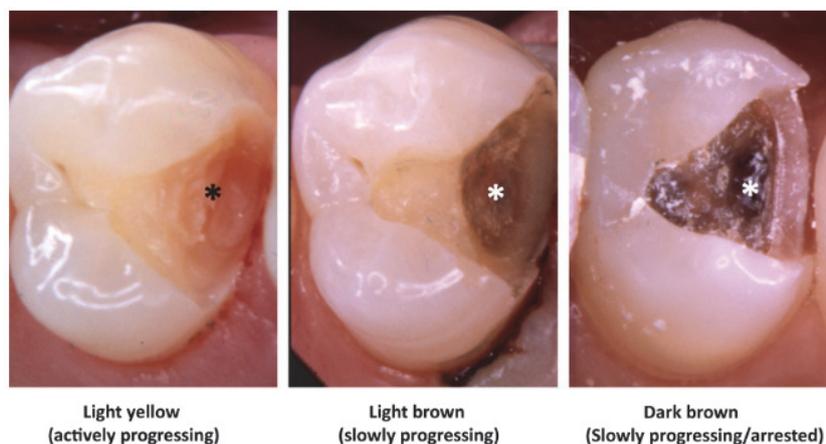


Figure 10 - Classification de la couleur des lésions carieuses (3)

III.4 Diagnostic des lésions carieuses

Le diagnostic implique de détecter la lésion carieuse, d'estimer sa profondeur, son degré de déminéralisation, et son activité.(6)

La détection des lésions carieuses est réalisée lors d'un examen clinique complété par des examens complémentaires basés sur des méthodes radiographiques, optiques ou électriques.(26)

III.4.1 Examen clinique

La détection clinique de caries est traditionnellement faite par une **inspection visuelle détaillée**. Elle est la méthode de diagnostic la plus communément utilisée dans la pratique quotidienne.

Cependant bien que des ustensiles pointus comme les sondes soient encore souvent utilisées, elles peuvent faire des dégâts en transformant une lésion initialement non cavitaire en lésion cavitaire.

Certaines lésions restent invisibles à l'examen visuel, comme l'a schématisé Pitts dans son schéma de l'iceberg.

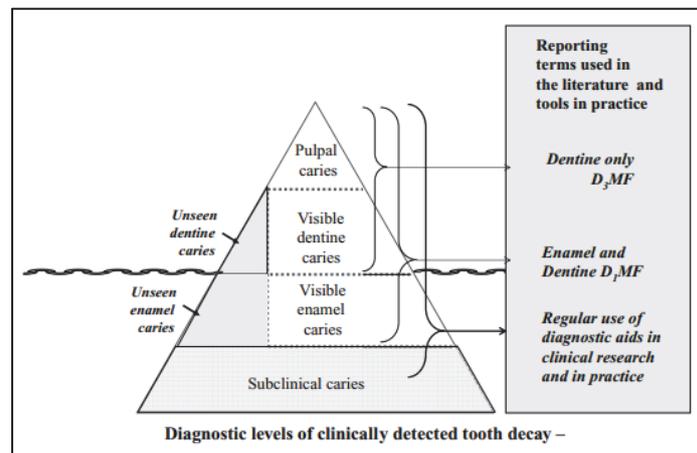


Figure 11 - Niveaux de diagnostic clinique de caries dentaires (39)

C'est notamment le cas de certaines lésions situées sur les faces proximales des dents pour lesquelles les radiographies dentaires sont donc un examen complémentaire très utile. (29,40,41)

III.4.2 Radiographies dentaires

Concernant les caries proximales non cavitaires, la radiographie est un moyen largement utilisé. La radiographie bitewing est utilisée depuis 1925 (41–43) et est la méthode de choix pour le diagnostic des caries interproximales.(44)

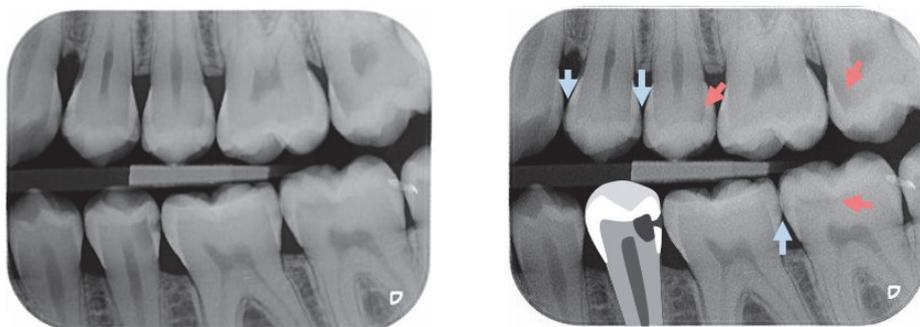


Figure 12 - Caries interproximales visibles à la radiographie Bitewing

Lors de la détection de caries dentinaires interproximales, l'examen visuel seul a une sensibilité de 12% (20% si des loupes sont utilisées) contre 49% avec l'utilisation de la radiographie bitewing. (45)

III.4.3 Systèmes d'imagerie par fluorescence

III.4.3.1 Quantitative Light Induced Fluorescence QLF

C'est une aide diagnostic pour la détection, la quantification et la surveillance des déminéralisations de l'émail. Ce système détecte et quantifie la perte de fluorescence associée à la déminéralisation.

Une excitation de la dentine avec une lumière bleue est provoquée. Les lésions apparaissent comme une tache sombre sur un fond vert vif.

Un logiciel renseigne sur la surface, la profondeur et le volume de la lésion.(27)

La perte de substance est quantifiée en rapport avec les tissus sains adjacents. Une perte de fluorescence de plus de 5% est considérée comme une lésion. (43)



Figure 13 - QLF (43)

Avantages de cette technique de détection :

- Détection des caries précoces au niveau des faces lisses et occlusales
- Détection et quantification des changements dans le contenu minéral de la dent
- Motivation des patients dans la phase prophylactique
- Reproductibilité des résultats
- Détection de l'activité bactérienne d'une lésion (fluorescence rouge)

Inconvénients de cette technique de détection : (46)

- Non utilisable pour la détection des caries sur les faces proximales
- Temps d'acquisition des données long et difficilement réalisable au cabinet

III.4.3.2 DIAGNOdent

Le système DIAGNOdent® consiste en une lumière monochromatique de 655 nm émise d'un capteur qui peut mesurer quantitativement la perte minérale grâce à la fluorescence des dérivés bactériens inclus dans la dentine infectée. En effet les produits du métabolisme bactérien appelés **porphyrines** sont fluorescents quand ils sont éclairés par une lumière laser rouge de 655nm. Cette fluorescence est lue et donne une valeur numérique qui correspond approximativement à la quantité de bactéries présentes.

Un score allant de 0 à 99 donne la possibilité de surveiller le comportement de la lésion.(43) Pour des valeurs (27) :

- Comprises entre 0 et 13 ; rien ne doit être entrepris cliniquement,
- Comprises entre 14 et 20 ; des mesures prophylactiques sont recommandées
- Supérieures à 20 ; il semble nécessaire d'intervenir

DIAGNOdent® peut aussi aider à déterminer la progression de l'éviction carieuse.

Ainsi, DIAGNOdent® a prouvé son efficacité pour le diagnostic conservateur des caries de sillons et fissures, et peut aussi être utilisé pour déterminer le point de fin de l'excavation.(47)

III.4.3.3 Fibre Optic Trans Illumination FOTI

La Transillumination Fibre Optique (FOTI) est basée sur un phénomène de dispersion de la lumière pour augmenter le contraste entre l'émail sain et l'émail carieux.

L'émail sain est composé de cristaux d'hydroxyapatite agencés densément, ce qui produit une structure quasi transparente. Si cet agencement des cristaux de l'émail est perturbé, FOTI révélera une ombre sombre liée à un changement de la diffusion de la lumière et de l'absorption des photons lumineux (48)

La dentine apparaît orange, brune ou grise sous l'émail et cela peut aider à différencier des lésions amélares ou dentinaires.(43)

Les avantages de cette technique de détection sont : (46,49)

- Détection des caries précoces
- Détection possible au niveau de toutes les faces dentaires dont les proximales (48)
- Différenciation entre carie de l'émail et de la dentine
- Economique
- Rapide
- Temps d'apprentissage court

Les inconvénients de cette technique de détection sont : (46)

- Pas de matérialisation par une image
- Pas de stockage des données
- Pas de suivi de l'évolution d'une lésion
- Moyen de diagnostic subjectif

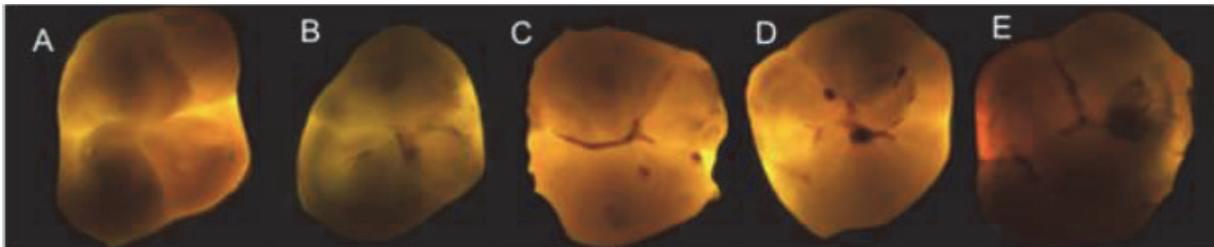


Figure 14 - Exemple d'images avec FOTI (43)
A : émail sain ; B,C,D,E : émail avec lésions carieuses

III.4.3.4 Digital Imaging Fiber Optic Transillumination (DIFOTI)

Le DIFOTI est basé sur le même principe que le FOTI, et utilise la lumière visible (gamme de longueur d'onde comprise entre 450 et 700 nm) pour trans-illuminer la dent avec une caméra CCD (Charged Coupled Device). DIFOTI peut capturer en temps réel des images des surfaces occlusales, buccales, linguales.(48). DIFOTI montre une plus grande sensibilité pour détecter des lésions initiales que les examens radiologiques (50) quelle que soit la surface dentaire concernée (51).

III.4.3.5 SoproLife®

Une autre méthode de détection basée sur l'imagerie et l'auto-fluorescence des tissus dentaires, est la caméra SoproLife®. La caméra fonctionne selon trois modes ; le mode « lumière du jour », pour lequel quatre LEDs blanches fonctionnent ; les modes de diagnostic et traitement, pour lesquels la lumière est fournie par quatre LEDs bleues de 450 nm. (43)

La dentine cariée est parfaitement superposable à la fluorescence rouge foncé détectée avec le SoproLife®. La dentine saine est fluorescente en vert, et l'émail n'a pas de fluorescence (52).

Email	Dentine	Dentine infectée		Interface dentine infectée/affectée		Dentine affectée (fin de traitement)	
Tissus sains		Lésion Active	Lésion Inactive	Lésion Active	Lésion Inactive	Lésion Active	Lésion Inactive
Vert clair à bleu ciel	Vert acidulé	Vert noir	Vert noir	Rouge vif	Rouge brun	Vert terne	Vert terne avec voile rouge

Tableau 1 - Guide clinique de la couleur des tissus dentaires visualisés à l'aide de SoproLife® (46)

Avantages de cette technique de détection : (46)

- Double fonction : diagnostic et aide à l'excavation
- Détection des caries au niveau de toutes les faces dentaires
- Différenciation entre carie de l'émail et carie de la dentine
- Différenciation entre dentine infectée et dentine affectée : évite les effractions pulpaire
- Images de haute résolution en lumière du jour et en lumière fluorescente : évite le surtraitement
- Pas de logiciel de traitement des couleurs, mais une image anatomique magnifiée
- Images stockées pouvant être comparées

Inconvénients de cette technique de détection : (46)

- Pas de données chiffrées pour la prise de décision
- Nécessite un temps d'apprentissage pour la prise en main

III.4.4 Conductance électrique

La déminéralisation crée une porosité qui, avec l'eau et les ions de la salive va créer des changements de la conductivité électrique.

Un courant alternatif fixé à une fréquence donnée, va mesurer la résistance globale du tissu dentaire.(43).

Il existe deux types de dispositifs : *Electronic Caries Monitor* (ECM) et *Electrical Impedance Spectroscopy* (EIS, commercialisé sous le nom de CarieScan®). (46)

III.4.5 Détecteur de carie

Ces colorants sont apparus dans les années 1970 et étaient au début de la Fuschine, maintenant souvent remplacée par du propylène ou polypropylène glycol associé à un colorant (53). Ils mettent en évidence la dentine infectée sans colorer ni la dentine affectée ni les tissus minéralisés.(46,54)

Les détecteurs de carie ne semblent pas être assez fiables pour pouvoir être utilisés comme unique technique de diagnostic dans la détection de lésions carieuses (53), leur utilisation se fait surtout lors de l'éviction afin de repérer la fin de l'éviction de la dentine infectée.

III.5 Classifications

La classification de Black (55) créée en 1904 est une classification historique topographique qui ne tient pas compte de l'importance des lésions carieuses et ne permet pas de guider le praticien au niveau thérapeutique (56). Elle a été complétée en 1956 par ajout de la classe VI.

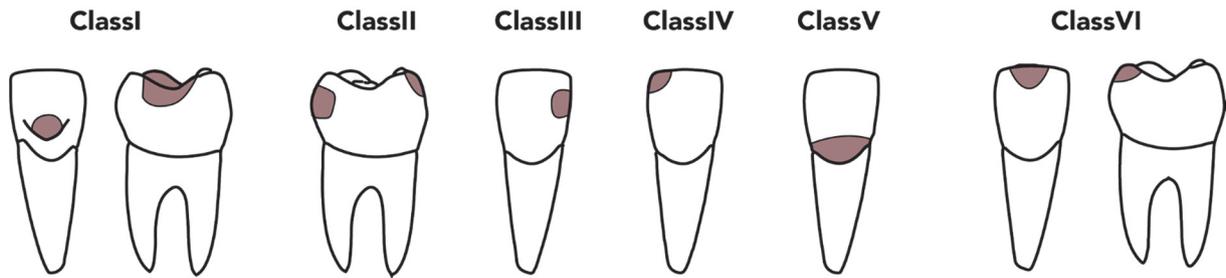


Figure 15 - Classification de Black – Laura Girard

Bien que toujours utilisée, on observe aujourd’hui une évolution allant vers des classifications qui vont inclure la sévérité des lésions et la prise en charge thérapeutique.

III.5.1 ICDAS

Le système ICDAS (International Carie Détection and Assessment System) est maintenant utilisé dans de nombreux pays.(29)(41,57,58)

Examen visuel ICDAS	0	1	2	3	4	5	6
	Surface dentaire saine	Changement visible après séchage	Changement visible sans séchage	Rupture localisée de l'émail	Dentine cariée visible par transparence sans ou avec rupture localisée de l'émail	Micro cavité avec dentine visible du fait de la perte d'intégrité de surface	Cavité dentinaire étendue

Tableau 2 - Classification ICDAS

Depuis que les lésions sont définies dès un stade précoce, une gestion préventive appropriée peut effectivement être codifiée et appliquée.

Pour le stade 0 une prévention primaire telle que le scellement prophylactique des sillons est appliquée dans le but de prévenir une éventuelle déminéralisation.

Pour les stades 1 et 2, la prévention est secondaire dans le but de reminéraliser les lésions initiales mais reste non chirurgicale, grâce à l'application de topique fluoré ou le scellement/infiltration de résine. Un nettoyage prophylactique professionnel est effectué au cabinet, et une éducation à l'hygiène bucco-dentaire est mise en place. L'utilisation d'un dentifrice fluoré est recommandée.

Pour le stade 3, le scellement résine est mis en place. Si la lésion est cavitaire limitée à l'émail, un traitement restaurateur ultra-conservateur est fait.

Pour les stades 4 à 6, la restauration passe par une thérapeutique chirurgicale via un traitement ultra-conservateur afin de restaurer la dent. (59)

Arbre décisionnel de la classification ICDAS :

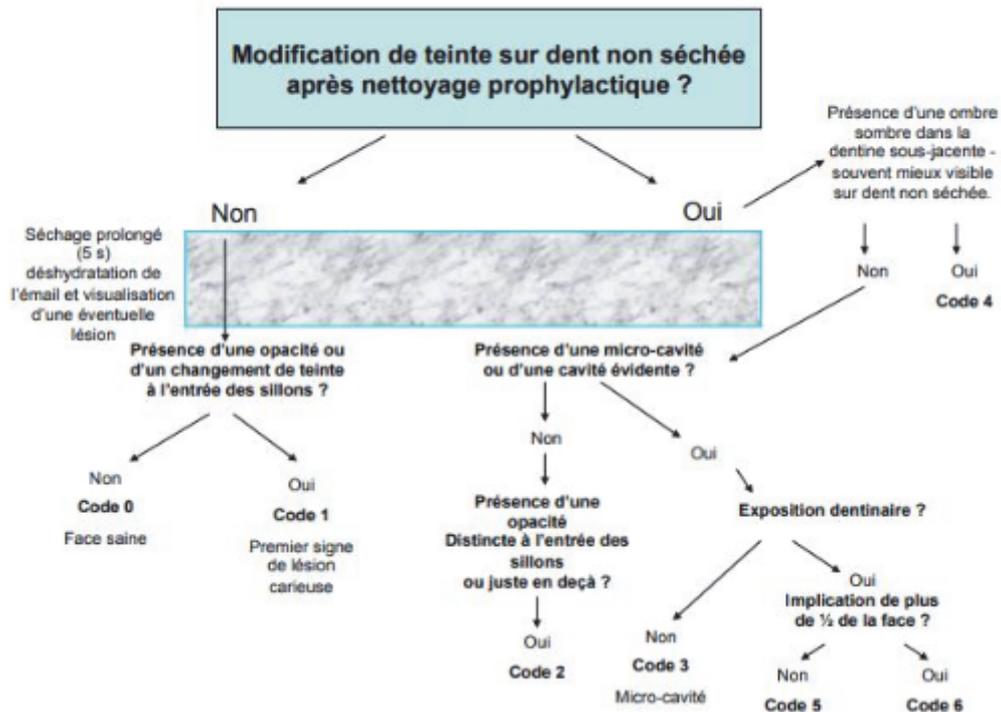


Figure 16 - Arbre décisionnel de la classification ICDAS

III.5.2 ICDAS radiographique

Système d'évaluation radiographique (RA) de l'ICDAS			
SEVERITE DES LESIONS CARIEUSES	0	Absence de radioclarité	 Absence de radioclarité
	RA Stades initiaux	RA 1	 Radioclarité localisée dans la 1/2 externe de l'émail
		RA 2	 Radioclarité localisée dans la 1/2 interne de l'émail ± à la jonction amélo-dentinaire
		RA 3	 Radioclarité localisée dans le 1/3 externe de la dentine
	RB Stades modérés	RB 4	 Radioclarité atteignant le 1/3 moyen de la dentine
	RC Stades sévères	RC 5	 Radioclarité atteignant le 1/3 interne de la dentine, cliniquement cavitaire
	RC 6	 Radioclarité touchant la chambre pulpaire, cliniquement cavitaire	

Tableau 3 - Système d'évaluation radiographique de l'ICDAS (60)

Examen clinique visuel (catégories C)	Examen radiologique (catégories R)				
	R_0 	RA_{1-2} 	RA_3 	RB 	RC 
C_{saine} 	Saine CR	Initiale CR	Initiale CR	Modérée CR	Sévère CR
C_{initiale} 	Initiale CR	Initiale CR	Initiale CR OU Modérée CR	Modérée CR	Sévère CR
$C_{\text{modérée}}$ 	Modérée CR	Modérée CR	Modérée CR	Sévère CR	Sévère CR
$C_{\text{sévère}}$ 	Sévère CR	Sévère CR	Sévère CR	Sévère CR	Sévère CR

Tableau 4 - Combinaison des évaluations cliniques et radiographiques (60)

Couplée à l'International Caries Classification and Management System (ICCMS) cette classification permet une gestion de la maladie carieuse et de ses lésions.

III.5.3 ICCMS™ (60)

La classification l'ICCMS™ propose une méthode standardisée pour la classification des lésions carieuses et la **gestion globale de la maladie carieuse**.

Plusieurs principes régissent l'ICCMS™ : (60)

1. L'ICCMS™ a pour objectif de **préserver au maximum les tissus dentaires sains**.
2. L'ICCMS™ a pour objectif de **prévenir** la maladie carieuse et/ou de la **contrôler** lorsqu'elle est déjà déclarée. Les lésions existantes seront, autant que possible, **stabilisées/reminéralisées** afin de limiter les dommages à long terme des tissus dentaires sains.
3. L'ICCMS™ a pour objectif de **maintenir la santé orale** des patients en insistant sur les préventions primaire et secondaire tout au long de la vie.
4. L'ICCMS™ est basé sur une évaluation pragmatique et scientifiquement étayée du **risque** ainsi que sur sa gestion personnalisée.
5. L'ICCMS™ est basé sur l'évaluation de la **sévérité et de l'activité des lésions**.
6. L'ICCMS™ a pour objectif de **prévenir** l'apparition de nouvelles lésions carieuses et l'aggravation des lésions existantes.
7. L'ICCMS™ n'intègre les préparations cavitaires limitées aux lésions (préparations ultra-conservatrices) qu'en dernier ressort lorsque l'intervention invasive est incontournable (clairement indiquée).
8. L'ICCMS™ comprend la mise en place de **contrôles périodiques** à intervalles personnalisés définis selon le RCI du patient.

Cette classification dérive de la classification ICDAS. Elle distingue :

- **Faces saines** : Les faces présentant des défauts non carieux tels que des hypoplasies de l'émail (incluant des fluoroses), des usures dentaires (attrition, abrasion et érosion) ou des colorations intrinsèques ou extrinsèques seront considérées comme saines.
- **Lésions carieuses initiales** : Absence de rupture, même localisée, de l'émail ; absence d'ombre dans la dentine sous-jacente
- **Lésions carieuses modérées** : La confirmation de la rupture de l'émail est faite grâce à une sonde parodontale dont l'extrémité sphérique est glissée le long des puits ou sillons suspects
- **Lésions carieuses sévères** : Une sonde parodontale peut être utilisée pour confirmer la présence d'une perte de substance dentinaire.

Définition des différentes catégories selon l'ICCMS™			
SEVERITE DES LESIONS CARIEUSES	Faces saines (ICDAS 0)		Face saine Aucun signe clinique de lésion carieuse sur la face examinée après nettoyage prophylactique et séchage prolongé (5 secondes)
	Lésions carieuses initiales (ICDAS 1 et 2)		Premier changement visuel de l'émail Présence d'une opacité ou d'une modification de teinte (lésion blanche ou brune) qui n'est pas en corrélation avec l'apparence clinique de l'émail sain (ICDAS 1 ou 2)
	Lésions carieuses modérées (ICDAS 3 et 4)		<ul style="list-style-type: none"> • Lésion blanche ou brune avec rupture localisée de l'émail mais absence d'exposition dentinaire visible (ICDAS 3) OU <ul style="list-style-type: none"> • Ombre dans la dentine sous-jacente (ICDAS 4) en rapport évident avec la face observée
	Lésions carieuses sévères (ICDAS 5 et 6)		Présence d'une perte de substance dans un émail opaque ou présentant un changement de teinte avec exposition dentinaire (ICDAS 5 ou 6)

Tableau 5 - Classification ICCMS et son équivalent ICDAS. (61)

L'ICCMS™ aide à l'élaboration des plans de traitement qui comprend une prise en charge globale de la maladie carieuse, appuyée sur le Risque Carieux Individuel (RCI) du patient, la sévérité et l'activité de la lésion. Elle permet d'établir une prise en charge et un suivi personnalisé du patient qui sera réalisé à des intervalles de rappel fixés selon le RCI du patient.

III.6 Importance du diagnostic pulpaire : réversible ou irréversible ?

La conservation de la vitalité pulpaire dans le cadre de la gestion de lésions carieuses profondes commence avec une évaluation clinique visant à déterminer si la pulpe peut être maintenue ou non (3). L'identification de lésions carieuses profondes par examen visuel est simple, mais déterminer son effet sur la pulpe, sa réelle profondeur, son activité, et la restaurabilité de la dent en vue de faire un pronostic est bien plus compliqué. (3) En effet, l'évaluation précise de l'histologie de la pulpe est impossible en pratique clinique. Nous n'avons à notre disposition que des tests subjectifs basés sur les sensations douloureuses du patient.

De plus, il n'y a **pas de corrélation directe entre l'extension de la lésion carieuse et l'inconfort ou la douleur ressentis**.(29) Il est parfois difficile de dissocier les douleurs pulpaires de celles des autres tissus. (15) Notons que même s'il y a une absence de symptôme, cela ne signifie pas qu'il n'y a pas d'atteinte pulpaire.

La pulpite est une inflammation pulpaire, provoquée par des irritants d'origine microbienne, chimique ou physique (mécanique ou thermique).

Elle peut être **réversible**, lorsqu'un retour à la normale peut être prédit après le retrait du stimulus irritant. Dans ce cas, les symptômes décrits par le patient sont modérés. et la réponse aux tests de sensibilité pulpaire est normale ou légèrement exacerbée. Les tests à la percussion et à la palpation sont négatifs. La douleur cesse rapidement à l'arrêt du stimulus. Il n'y a pas de modification de l'espace péri-radriculaire visible à la radiographie. (62)

Elle peut devenir **irréversible**, lorsque les microorganismes cariogènes entrent dans l'espace pulpaire, que ce soit directement dans la pulpe ou au travers de la dentine tertiaire (3)

Dans ce cas, la pulpe a peu de chance de retourner à son état par le simple retrait du stimulus irritant, il faudra retirer partiellement ou totalement le tissu pulpaire affecté.

Les symptômes décrits sont sévères, il est difficile pour le patient de localiser la dent causale. La douleur est souvent irradiante vers l'oreille, la région de la tempe / orbitaire, ou vers le cou.

La douleur est provoquée par des variations de température, des changements de position, la mastication ; ou peut être spontanée et continue.

Lors des tests de sensibilité pulpaire, la réponse est extrêmement exacerbée, la douleur ne cesse pas à l'arrêt du stimulus. La percussion est généralement négative ou légèrement positive, et à la radiographie, seul un élargissement du ligament parodontal peut être visible.(62)

Pour envisager le traitement et la restauration d'une lésion carieuse profonde, la pulpe doit pas être dans un état de pulpite irréversible.

III.6.1 Corrélation entre clinique et histologie (62,63)

Pour certains praticiens le diagnostic de la pulpe est basé sur la description subjective des symptômes : la dent est-elle symptomatique ou non ?

Pour d'autres praticiens, est appliquée la nuance diagnostique entre pulpite réversible ou irréversible.

Le lien entre l'histologie et la réversibilité ou l'irréversibilité d'une pulpite est difficile à confirmer cliniquement. (3)

Les pulpes ayant une **pulpite réversible** présentent histologiquement une pulpe non inflammée ou une pulpe atrophique.

La pulpe atrophique apparaît comme étant moins cellulaire, avec moins de fibroblastes, mais une plus grande quantité de faisceaux de collagène. La couche odontoblastique est réduite et aplatie. Des zones de calcification peuvent apparaître au sein du tissu pulpaire, avec d'épaisses couches de dentine tertiaire réduisant le volume pulpaire.

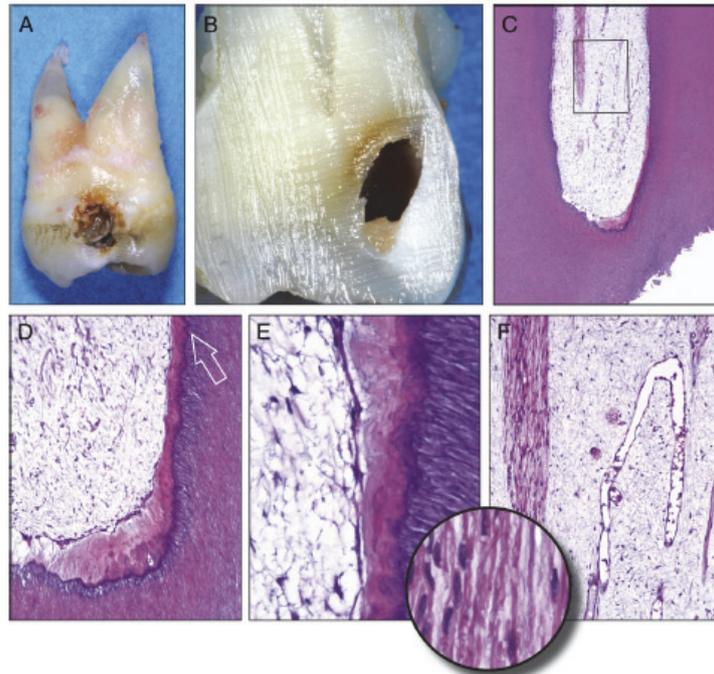


Figure 17 - Réversibilité histologique et clinique (62)

Les pulpes avec **inflammation chronique modérée confinée à la pulpe coronaire** entrent dans cette catégorie. Dans ces cas, les lymphocytes et cellules plasmatiques sont réunies sous les aires de pénétration les plus profondes de la carie, mais ne changent pas l'architecture normale de la pulpe. Les aires de nécrose ainsi que les bactéries sont absentes.

Les pulpes ayant une **pulpite irréversible** présentent une nécrose partielle ou totale de la pulpe coronaire. Il y a des zones entourées de masses de PMN (polymorphonucléaires neutrophiles) morts ou vivants. En périphérie, la concentration de cellules inflammatoires chroniques (lymphocytes, cellules plasmatiques et macrophages) forme un halo dense autour d'une zone d'abcès. Des agrégations bactériennes colonisent le tissu pulpaire nécrotique et les murs dentinaires adjacents.(62)

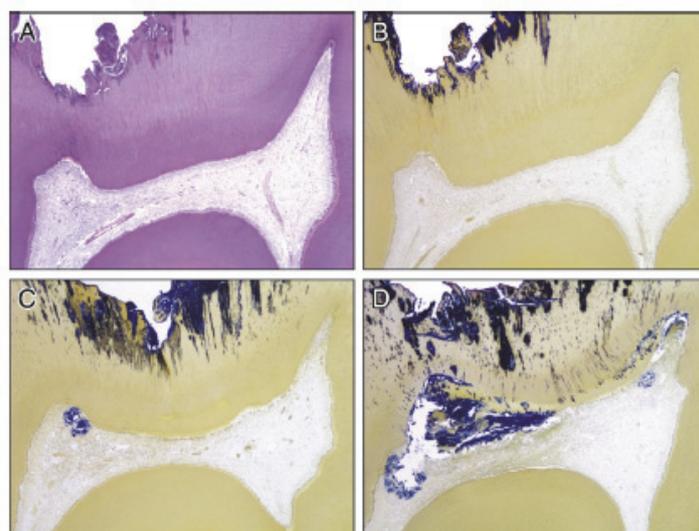


Figure 18 - Irréversibilité clinique et histologique (62)

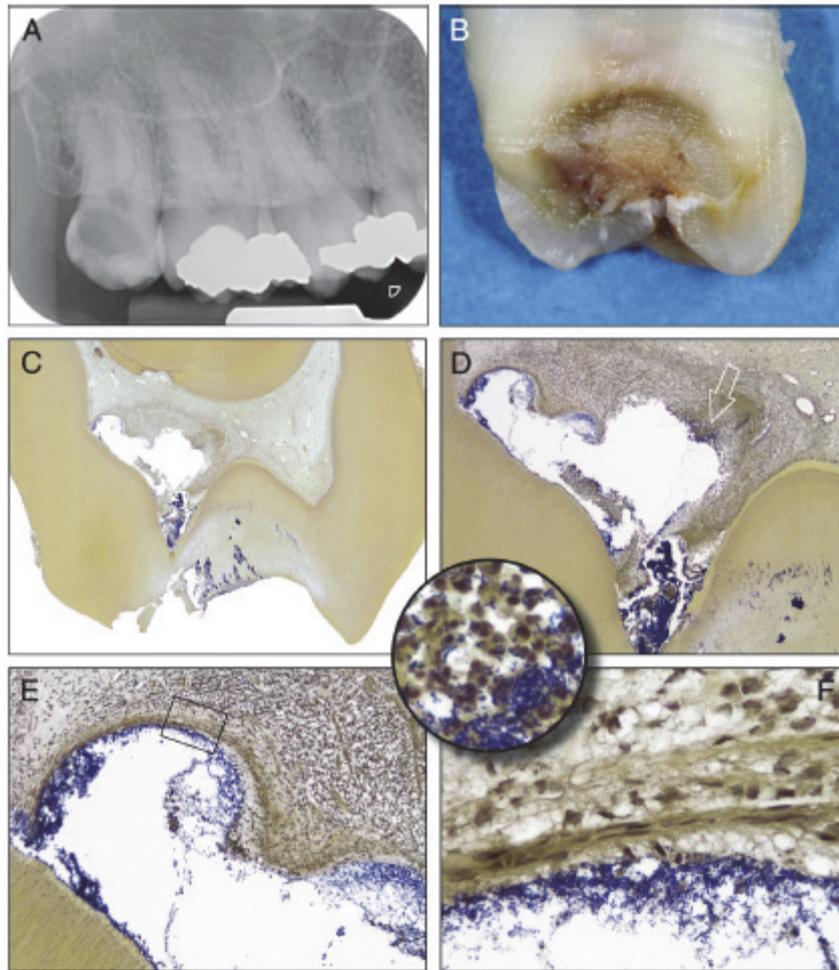


Figure 19 - Irréversibilité clinique et histologique (62)

Les auteurs ont conclu qu'il y a **une bonne concordance entre le diagnostic clinique et l'état histologique de la pulpe.**(3,62)

Ainsi une carie profonde peut donc être corrélée à une pulpite réversible, avec une sensibilité pulpaire mais sans atteinte apicale. Dans ce cas un traitement conservateur par éviction partielle ou Stepwise peut être envisagé pour maintenir la vitalité pulpaire. Un point important après le traitement de ces cas est de **conserver une sensibilité pulpaire**, car l'absence de symptômes cliniques peut être le résultat d'une nécrose pulpaire évoluant à bas bruit. (64)

IV- Techniques d'éviction carieuse

Si les caries sont laissées non traitées, elles évolueront au travers de la dentine et engendreront une pulpite, puis éventuellement une infection pulpaire et enfin une nécrose. Cependant, s'il n'y a pas de lésion irréversible et si elles sont gérées de façon conservatrice, **une guérison pulpaire peut avoir lieu même lors de caries profondes.**(3)

Dans le cadre de cette thèse, les « caries profondes » sont définies comme des caries atteignant à la radiographie le **tiers interne** ou le **quart interne** de la dentine, avec un risque d'exposition pulpaire lors de l'éviction. (3). Elles correspondent donc aux stades 5 & 6 de la classification ICDAS (clinique et radiologique) et à des lésions sévères dans la classification ICCMS.

IV.1 Evolution des techniques d'éviction

Traditionnellement, la gestion de caries profondes avait une approche non conservatrice avec une éviction complète non sélective de toute la dentine cariée.

Cependant à ce jour, des stratégies de traitements minimalement invasifs basés sur la biologie ont été proposés. Elles se base sur une éviction carieuse sélective en une visite ou en deux visites (3) et présentent l'avantage de réduire le risque d'exposition pulpaire.

L'éviction sélective peut être pratiquée en utilisant différents **critères tactiles** (retrait de toute la dentine ramollie périphérique mais pas de celle proche pulpaire) ou en appliquant des **méthodes d'excavation auto limitantes**, comme les fraises en polymère, en céramique, ou les gels chémo-mécaniques. (65)

IV.2 Aides chimiques et mécaniques à l'éviction carieuse

IV.2.1 Les fraises

Plusieurs types de fraises peuvent être utilisées pour l'éviction carieuse et la préparation cavitaire.

Les fraises en **carbure de tungstène** sont classiquement utilisées. Elles ont des arrêtes tranchantes qui peuvent être droites, en forme de spirale et avec ou sans la présence de coupes transversales. Généralement utilisées sur contre-angle bague bleue, elles traitent aussi bien la dentine que l'émail. Le spray d'eau lors de son utilisation est indispensable pour l'élimination des débris et le contrôle de la température (66). Elles peuvent conduire à une sur-préparation.



Figure 20 - Fraise en carbure de tungstène

Les fraises en **céramique** (67) sont composées le plus souvent de céramique en zircone alliée à de l'oxyde d'alumine. Elles présentent une meilleure résistance à la compression, à l'usure et sont plus dures que les fraises classiques. Elles s'utilisent à faible vitesse, une simple pression très légère suffit pour qu'elles soient efficaces. Elles permettent une élimination carieuse sélective, et sont donc très utiles pour l'éviction carieuse partielle.



Figure 21 - Fraise en céramique CeraBur, Komet

Les fraises **polymères** sont généralement faites d'un polymère polyamide/imide, elles ont les arrêtes droites.

Elles permettent d'**éviter l'effraction pulpaire** car elles s'émousent au contact de tissus durs sains (68). Elles sont utilisées sur contre-angle à faible vitesse, avec ou sans spray d'eau. Elles sont à usage unique. (66)



Figure 22 - Fraise PolyBur, Komet

Les fraises polymères semblent être les seules réellement auto-limitantes. Du fait qu'elles s'émousent au contact de tissus durs, elles ne risquent pas de sur-préparer les tissus sains.

Elles permettent donc un maximum de conservation tissulaire et limitent aussi le risque d'effraction pulpaire. L'éviction à l'aide de ce type de fraise peut prendre un peu plus de temps qu'avec des fraises en carbure de tungstène (69).

IV.2.2 Gels chémo-mécaniques

L'éviction carieuse grâce à des gels chémo-mécaniques est une excellente méthode pour une excavation carieuse minimalement invasive. Les agents actifs peuvent être à base d'**hypochlorite de sodium** NaOCl (tels que Caridex® ou Carisolv®) ou à base d'**enzymes** (tels que Papacarie® ou le Biosolv®, qui est encore expérimental).(70)

Cette technique d'éviction est lente, mais moins douloureuse qu'une éviction complète jusqu'à la dentine dure, avec moins de risques de complications. (65)

IV.2.2.1 Exemple de gel chémo-mécanique à base de NaOCl- : le Carisolv®

Le système Carisolv®, se compose de deux gels :

- Un gel chloré (un gel spécifique à base d'hydroxyde de sodium, de chlorure de sodium, de carboxyméthylcellulose et d'acides aminés tels que l'acide glutamique, leucine, lysine...).
- Et un gel d'hypochlorite de sodium à 0,95 % capable de dissoudre la dentine cariée.

Il s'utilise à l'aide d'une instrumentation spécifique de transport et d'excavation.(71)

Le produit doit agir pendant 30 secondes pour ramollir davantage la dentine infectée. Cette dernière sera curetée à l'aide d'instruments manuels spécifiquement conçus pour le Carisolv®. Cette séquence est répétée autant de fois que nécessaire, c'est-à-dire jusqu'à ce que le gel soit exempt de débris. Toutefois, un temps maximum de contact avec les tissus de 10 minutes ne doit pas être dépassé pour la totalité de l'intervention (27,46)

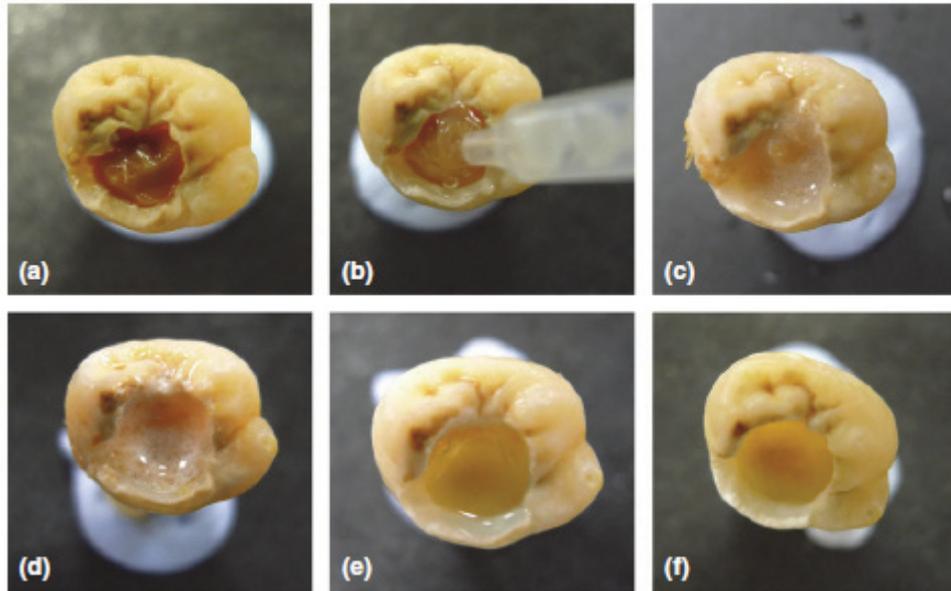


Figure 23 - Action du gel Carisolv® (70)

IV.2.2.2 Exemple de gel chémo-mécanique à base d'enzymes : le Papacarie®

Papacarie® est un gel à base de papaïne. Bien qu'il contienne de la chloramine en faible quantité, l'action du gel dépend de la papaïne. Papacarie a montré un temps d'excavation plus court que le Carisolv®. (70)

Papacarie® doit agir 30 secondes pour des lésions actives et 40 à 60 secondes pour des lésions arrêtées (72). Après action, la cavité est curetée à l'aide d'un instrument manuel. Il n'y a pas besoin de rincer le produit. Une nouvelle application de Papacarie® peut se faire immédiatement et ce jusqu'à l'éviction totale de la dentine infectée (46)



Figure 24 - Papacarie®(70)

IV.2.3 Lasers

Concernant le laser **Er:YAG**, l'émission se fait dans l'infrarouge à une longueur d'onde de **2940 nm**, selon un mode pulsé. Sa longueur d'onde est fortement absorbée par l'eau. Il sera donc beaucoup plus efficace sur les tissus avec une forte composition en eau tels que les tissus cariés (73). Il permet donc de réaliser une éviction sélective en épargnant les tissus sains (74).

Les études montrent l'utilisation de ce laser n'affecte pas la vitalité pulpaire et n'est pas un obstacle à l'adhésion des résines composite (75). Le laser Er:YAG est donc un remplaçant potentiel des instruments rotatifs pour l'éviction des lésions carieuses.

Le laser Er:YAG possède de plus un **effet bactéricide** (76). Celui-ci s'explique par une transformation de l'énergie du rayonnement incident en chaleur. Un spray d'eau continu est donc indispensable pour réduire ses effets thermiques.(73)

Les lasers **Nd :YAG et Er :YSGG** peuvent également être utilisés pour **l'ablation de tissus cariés** (46,66). Cependant, le laser **Nd :YAG** sera surtout utilisé pour le conditionnement du fond carieux.

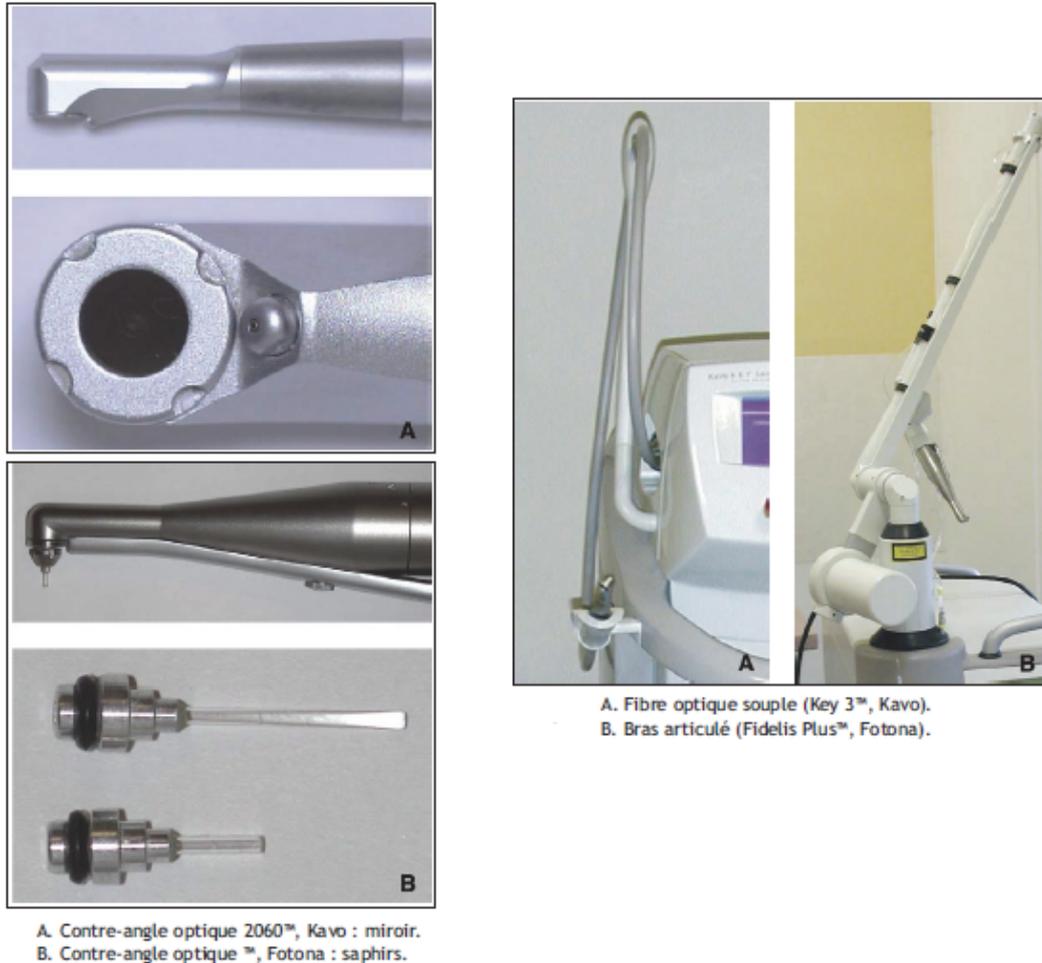


Figure 25 - Laser Er:YAG, et contre-angles optiques (à gauche) et transmission du faisceau laser (à droite) (73)

IV.2.4 Air abrasion

L'air abrasion est une technique d'éviction micro invasive (77). Selon la pression et le type de particules utilisées, les systèmes pourront avoir une action prophylactique d'aéro-polissage ou un réel rôle abrasif permettant l'éviction carieuse (27). Certains systèmes réalisent spécifiquement l'aéro-polissage, d'autres l'air abrasion et certains les deux.

L'élimination des tissus est généralement réalisée grâce à la projection à forte pression de particules **d'oxyde d'alumine**.

L'action sera différente selon le tissu cible, elle entraînera une coupe des matériaux rigides, alors que l'on observera plutôt un effet d'abrasion sur les substrats plus ductiles, tels que les tissus cariés. De ce fait, la dentine cariée sera plus difficilement éliminée (66).

L'usage de la digue est obligatoire pour protéger les tissus sains et permettre une action ciblée des particules sur les tissus cariés et éviter les projections.(78)

La préparation est optimale avec une pression de **30-60 psi** pour des particules **d'oxyde d'alumine de 27 µm** et une distance d'action de **0,5 à 2 mm** (27) .

Certains auteurs recommandent de remplacer les particules d'oxyde d'alumine par des particules de polycarbonates ou d'utiliser un mélange d'alumine/hydroxyapatite moins dure. (27)

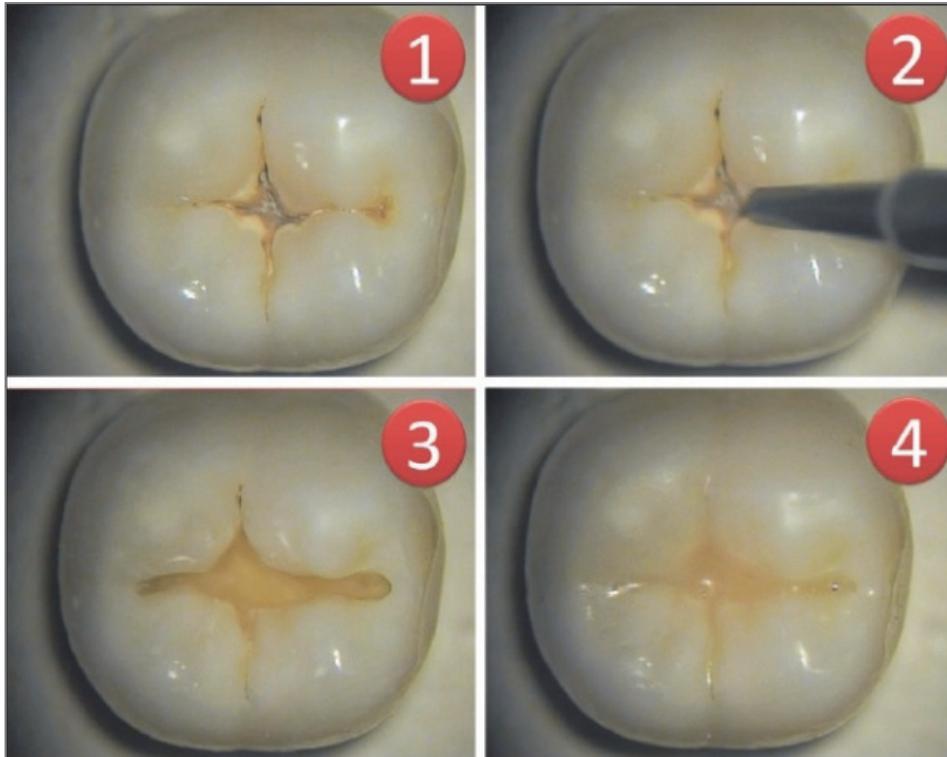


Figure 26 - Air abrasion utilisée pour l'éviction de caries des sillons avec des particules de 27 microns.

- 1) Caries des sillons sur la deuxième molaire mandibulaire
- 2) Embout de l'appareil à air abrasion placé sur la dent
- 3) Eviction carieuse avec préparation à minima
- 4) Restauration (sous microscope x16) (78)

Exemple : RONDOflex™ plus 360, KaVo



Figure 27 - RONDOflex™ plus 360 KaVo www.kavo.fr

IV.2.5 Ultrasono-abrasion et sono-abrasion

Tous ces procédés ultrasoniques et soniques ont une efficacité dépendante de la dureté des tissus résiduels et demeurent peu efficaces sur la dentine ramollie (27,79)

Les inserts ont trois actions mécaniques (80) :

- Une action dite de **percussion**, permettant d'éliminer l'émail non soutenu. Cette élimination est sélective. En effet, seuls les tissus fragiles seront éliminés tout en préservant les parois résistantes.
- Une action de **balayage**, permettant d'éliminer les tissus cariés grâce à un mouvement de va et vient le long des parois.
- Une action **abrasive** permettant de terminer l'éviction carieuse, réaliser les finitions en rendant les parois plus homogènes, facilitant ainsi le collage.

Il est admis que plus le tissu est dur plus l'insert sera efficace. Les ultrasons ayant donc une faible action sur les tissus mous, auront pour inconvénient une **élimination limitée de la dentine cariée ramollie**.(27)

En contrepartie, ils ont l'avantage d'avoir **peu d'effets iatrogènes** sur les tissus mous tels que les tissus gingivaux, évitant ainsi les lésions du parodonte et son saignement.(81) Ceci facilitera le collage, l'étanchéité et donc la qualité des restaurations. Les patients rapportent une diminution du bruit et de la douleur peropératoire, ce qui est un argument en faveur de leur utilisation (66).

Exemples : Kavo-SONICflex (sono-abrasion) & EMS System® (ultrasono-abrasion)



Figure 28 - Quelques-uns des inserts SONICflex proposés par KaVo (82)

	Préparation	Types d'inserts	Visuels
Générateurs : Série Piezon Master 600/700, Mini Master et Mini Piezon			
Inserts diamantés présentés avec CombiTorque dans une cassette de type Steribox autoclavable	Préparation cavitaire	SM Instruments type DS-051A/052A : préparation classe II mésial et distal SBm/d DS-061A/062 A : inserts demi-boules pour préparations tunnel et slot SB DS-057A : instrument forme boule de préparation PF6062A : préparation pour puits et fissures VE DS-064A : préparation pour facettes	Instrument SB Instrument VE
	Obturations et finitions	Inserts E/F : DS-007/007A pour la condensation des amalgames Inserts G DS-008 pour le brunissage des amalgames	Instrument PF
	Aides au collage	Inserts caoutchouc SP015 et caps EL-063	

Tableau 6 - Présentation du système d'ultra-sono abrasion EMS (83)

IV.2.6 Révélateur de carie

Ils permettent de repérer la fin de l'éviction de la dentine infectée. (54)

En revanche, la coloration est irréversible, et ce même en cas de traitement de reminéralisation.

De plus, il y a un **risque de surtraitement** lié aux faux positifs (46,53,54,67,84). En effet, ces détecteurs semblent colorer la matrice déminéralisée et non les tissus infectés par les bactéries (53). Ainsi la dentine saine circumpulpaire et la jonction émail-dentine peuvent être colorées. (46,54)

Il semblerait que l'utilisation de polypropylène glycol à la place de propylène glycol pourrait limiter le risque de surtraitement et ainsi la perte inutile de dentine saine. En effet le polypropylène glycol a un poids moléculaire plus important et limite ainsi sa pénétration en profondeur des tubules dentinaires.(53)

Exemple : Snoop™ - Pulpdent



Figure 29 - Snoop™ -Pulpdent www.pulpdent.fr



Figure 30 - Application de Snoop™ www.pulpdent.fr

IV.3 Éviction totale

IV.3.1 Définition

L'éviction totale ou complète ou non-sélective est l'éviction totale du tissu carieux jusqu'à obtenir de la dentine saine et dure sur toutes les parois de la cavité.

Cliniquement, il est communément admis que le retrait de la dentine déminéralisée est achevé lorsque la sonde émet un « cri dentinaire », concomitant à une sensation de résistance d'une dentine normale(26,85). Cette technique basée sur l'élimination de la dentine ramollie est basée sur l'idée que le succès de la restauration ne peut être obtenu que si l'intégralité des bactéries ont été retirées(86,87).

Cette technique n'est plus recommandée.

Les tissus déminéralisés sont entièrement éliminés à l'aide de fraises boules en tungstène ou céramique montées sur contre-angle et/ou d'instruments manuels type excavateurs. Ensuite le matériau de restauration est mis en place dans la même séance (88).

IV.3.2 Effets indésirables

Les effets indésirables de cette méthode sont (65) :

- Un risque majoré d'effraction de la chambre pulpaire
- Une possibilité d'évolution en pulpite aiguë irréversible ou en nécrose pulpaire
- Une possible diminution de la résistance mécanique de la dent (86)

Il a été récemment établi que l'éviction carieuse complète non sélective est aujourd'hui un **surtraitement** et qu'elle n'est pas essentielle ni désirable pour contrôler la progression de la carie. (3,89–91)

IV.4 Techniques d'évictions partielles

L'éviction partielle présente deux techniques : soit la technique dite du « Stepwise » en deux temps, soit l'éviction sélective en un temps.(86)

Ce traitement est indiqué dans les lésions profondes dentinaires pour éviter l'exposition pulpaire. (26,88)

Eviter l'exposition pulpaire permet de :

- Réduire le risque d'infection bactérienne, mais vu que la dentine est tubulaire, si la couche de dentine restante avant effraction est inférieure à 1 mm, elle est autant perméable que si l'effraction était faite.
- Préserver la barrière odontoblastique.
- La dentine peut relarguer des facteurs de croissance et ainsi stimuler la réparation.

Certains auteurs font une nuance entre l'éviction partielle en deux temps et la technique Stepwise. Nous ne ferons pas de distinction, aucune définition précise n'ayant pu être retenue afin de préciser cette différence.

La carie profonde peut être gérée par une éviction sélective sans avoir à éradiquer l'intégralité de la population bactérienne (3)

En effet, contrairement à l'excavation complète jusqu'alors préconisée, des preuves récentes indiquent que le fait de laisser des bactéries sous une restauration serait à la fois inévitable et acceptable. Il faut cependant pouvoir réaliser une restauration suffisamment étanche de manière à entraîner une privation nutritionnelle des microorganismes restants.

IV.4.1 Eviction partielle en un temps : l'éviction sélective.

IV.4.1.1 Définition

L'éviction partielle en un temps est aussi appelée **éviction sélective**. (92–94)

C'est une méthode d'éviction dans laquelle la dentine cariée d'une lésion profonde est enlevée de la périphérie vers le centre de la lésion. Les zones périphériques sont nettoyées jusqu'à l'obtention d'une dentine dure. Une éviction partielle est ensuite réalisée au niveau des zones proches de la pulpe.(26,88)

Ce traitement est indiqué dans les lésions profondes dentinaires pour éviter l'exposition pulpaire.(26,88)

IV.4.1.2 Avantages

Les avantages de cette technique d'éviction sont :

- Préserver la vitalité pulpaire.
- Maximiser la conservation des tissus durs dentaires.
- Mimer la dent naturelle si restaurée via un processus d'adhésion avec peu de stress (47)
- Gain de temps pour le praticien et le patient (3)
- Moins de complications pulpaires après une période de 3 ans par rapport à l'éviction en deux temps (95)

IV.4.1.3 Inconvénients

Les effets indésirables de la technique d'éviction partielle en un temps sont :

- Le risque d'évolution potentiel vers une pulpite aigüe irréversible ou une nécrose pulpaire,
- Une diminution d'adhésion de la restauration en cas d'éviction incomplète au niveau des parois qui se solde à terme par une infiltration cervicale, et enfin par une reprise de la lésion carieuse.(86,96)
- Risque de faux diagnostic radiographique pouvant inciter un nouveau praticien à (ré)intervenir.(3)

IV.4.1.4 Protocole (47,86)

1. Tester la vitalité pulpaire avec un aérosol réfrigérant. Si le test est ambigu ou négatif, informer le patient du possible besoin d'un traitement endodontique.
2. Anesthésier et isoler la dent.
3. Enlever d'éventuelles restaurations et accéder à la lésion.
4. A l'aide d'une instrumentation rotative, créer une zone périphérique propice au collage. Pour cette étape on peut s'aider d'un détecteur de carie. Il doit être appliqué pendant 10 secondes puis rincé. Les tissus cariés sont retirés jusqu'à ce que la zone périphérique ne soit plus colorée.
5. Dans le cas de cavités modérément profondes, l'éviction sélective se fait jusqu'à l'obtention d'une dentine ferme (ou de consistance « cuir ») au niveau des zones supra-pulpaire. Dans les cas de cavités juxta-pulpaires, de la dentine molle est conservée au niveau des zones supra-pulpaires.
6. Traiter la dentine pour inactiver les MMP et les bactéries restantes.

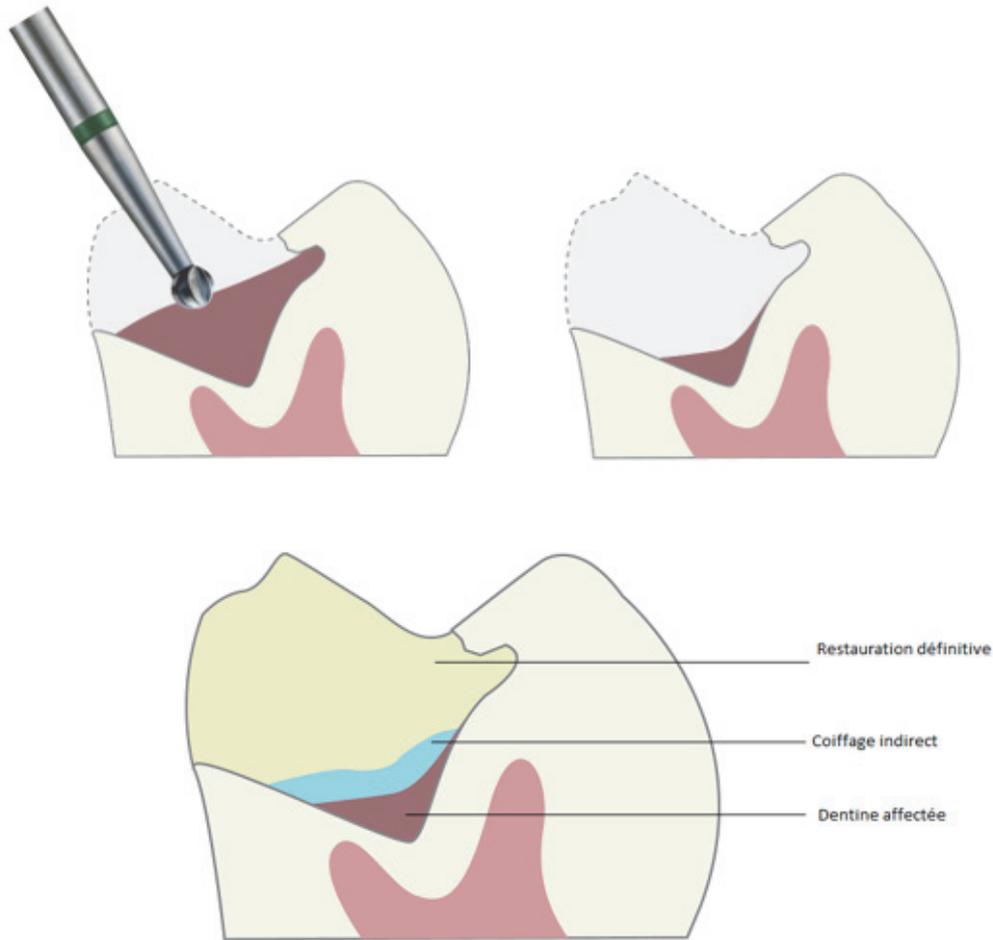


Figure 31 - Eviction en un temps – Laura Girard

IV.4.2 Eviction partielle en deux temps : Step wise

IV.4.2.1 Définition

L'éviction partielle en deux temps (ou « Stepwise Technic ») a été créée dans le but de réduire les effractions pulpaire lors du curetage.

Comme pour la technique en un temps, la lésion est minutieusement nettoyée en périphérie et le praticien laisse un fond de dentine déminéralisée au contact de la pulpe et met en place une restauration qui ne sera que provisoire.

Dans un deuxième temps, sous réserve de la vitalité pulpaire, la restauration provisoire est intégralement déposée. S'il subsiste du tissu déminéralisé résiduel, celui-ci est éliminé puis la restauration définitive est mise en place (20,89)

IV.4.2.2 Avantages

Par rapport à une éviction complète, le Stepwise permet : (3)

- Moins d'expositions pulpaire
- Moins de douleurs
- Plus de conservation de la vitalité pulpaire.

IV.4.2.3 Inconvénients

Les inconvénients de la technique stepwise sont :

- La possibilité d'une progression de la lésion carieuse durant la phase de temporisation, avec une évolution potentielle vers une pulpite aigue irréversible ou une nécrose pulpaire
- **Le risque potentiel d'effraction pulpaire lors de la réintervention** (3,86,89,90,95)
- Le risque de perdre de vue le patient, ce qui se solde à long terme par un échec du traitement (86)
- Le cout qui est supérieur à celui du traitement en une étape. (86,90,96)
- **Le manque de preuves de la nécessité de rouvrir pour augmenter le succès de la restauration.**(97)

IV.4.2.4 Protocole

- Le curetage carieux dans un premier temps, où le praticien laisse un fond de dentine déminéralisée au contact de la pulpe (A), est fait. Les bords de la cavité quant à eux doivent être parfaitement nettoyés (B).
Le but de la première étape est de changer l'environnement cariogène.
L'excavation de la dentine carieuse ramollie est faite jusqu'à ce qu'une restauration temporaire puisse être proprement placée.(3)
- Une obturation est mise en place soit avec de l'hydroxyde de calcium recouvert de CVI, soit qu'avec du CVI ou de la Biodentine™. (C)
- Dans un deuxième temps, 6 à 12 mois plus tard, sous réserve de la vitalité pulpaire, la restauration provisoire ainsi que le fond de cavité sont déposés. La reminéralisation de la couche laissée au contact de la pulpe est vérifiée à la sonde. (D)
- S'il subsiste encore du tissu déminéralisé, celui-ci est éliminé. (E)
- Ensuite, la restauration définitive est mise en place (F). (20,86)

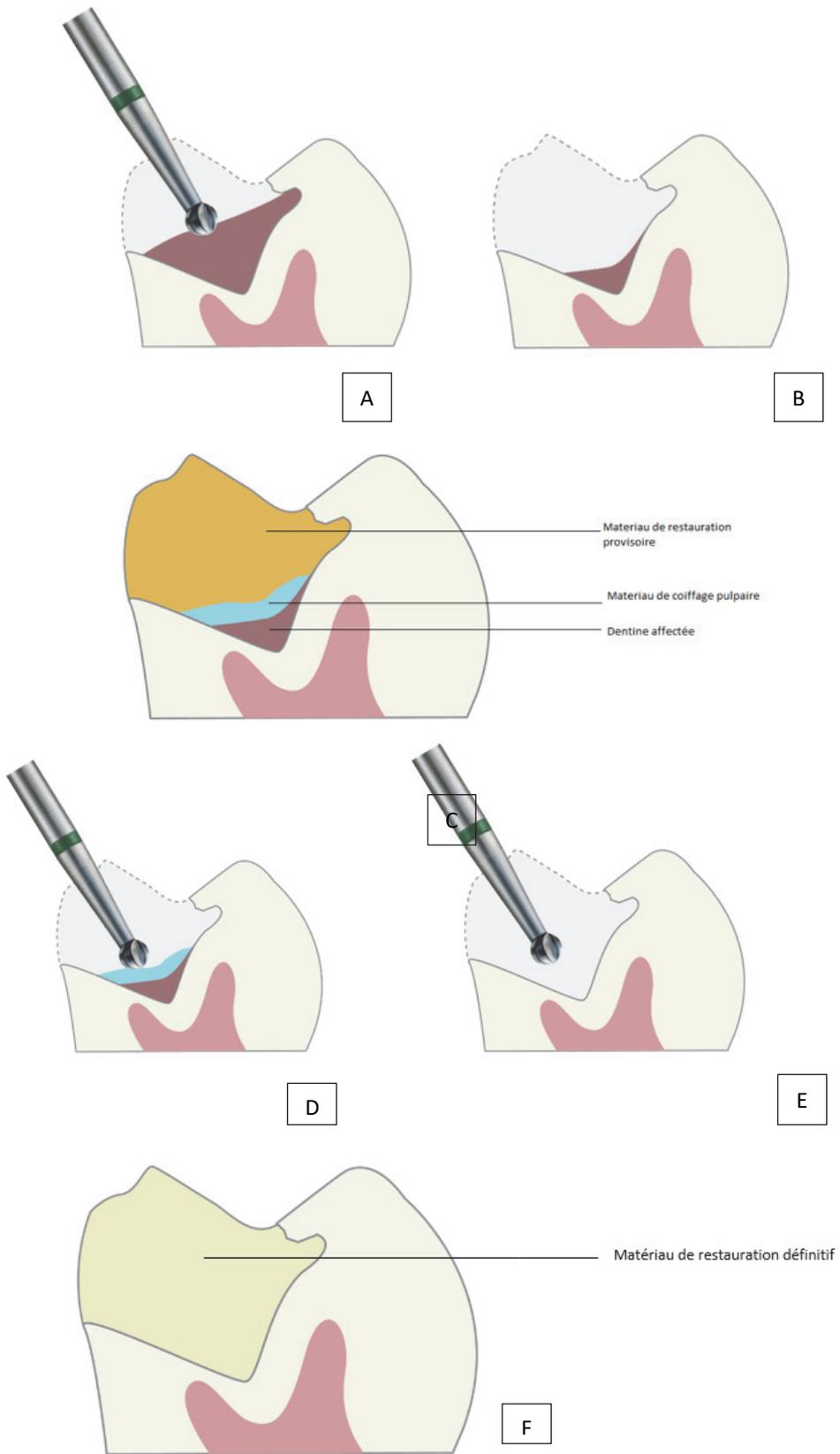


Figure 32 - Protocole de la technique Stepwise - Laura Girard

IV.4.3 Résultats de ces techniques

L'éviction partielle a un taux de succès de près de **90%, sans corrélation avec le matériau utilisé.**(91)
Les bactéries emprisonnées sous une restauration ne sont pas dangereuses une fois isolées de l'environnement. L'échec ou le succès clinique ne semble pas dépendant de leur nombre. (65,89)

L'excavation partielle de la dentine cariée suivie d'une restauration étanche résultent en :

- Des changements cliniques dans la couleur et la consistance de la dentine restante, suggérant un **arrêt de la progression** de la lésion carieuse (3,90)
- Une augmentation de la différence d'opacité radiologique, suggérant une **reminéralisation**.
- **Une diminution significative du nombre de bactéries** sous le matériau de restauration coronaire. De plus, la distribution des espèces bactériennes est modifiée et ne représente plus le microbiote classique des caries profondes.(89,90,98,99)

On peut ainsi dire que l'excavation complète n'est pas essentielle pour contrôler la progression de la carie (89). Qu'elles soient en une ou deux étapes, ces techniques ont des résultats comparables pour le traitement des caries profondes atteignant le tiers pulpaire (3). Il y a moins de preuves disponibles pour les caries atteignant le quart pulpaire.

Cependant, l'éviction en un temps a l'avantage d'éviter le risque potentiel d'effraction pulpaire inhérent à la réintervention. D'un point de vue économique, l'éviction partielle en un temps est la plus avantageuse.(86,100)

Dans tous les cas, ces techniques sont tributaires d'une restauration coronaire étanche qu'elle soit temporaire ou définitive.

IV.5 Biomatériaux

Un biomatériau est un matériau non vivant utilisé dans un dispositif médical, à des fins thérapeutiques ou non, et appelé à interagir avec les systèmes biologiques (101).

En plus d'être techniquement simples d'utilisation, les matériaux de restauration doivent avoir :

- Une **biocompatibilité** adéquate avec le tissu pulpaire, considérant son insertion dans des cavités profondes,
- Des **propriétés mécaniques** suffisantes pour supporter les contraintes occlusales,
- Une bonne **adaptation marginale**.

Les matériaux classiquement décrits dans le cadre de la gestion des lésions carieuses profondes sont :

- L'hydroxyde de calcium (CaOH₂) entraîne la formation de dentine tertiaire réactionnelle, ainsi que d'un pont dentinaire. Ce matériau se dégrade rapidement, et est peu étanche (102). Le CaOH₂ devrait être uniquement utilisé dans la zone la plus profonde de la cavité carieuse et être recouvert par une couche de Ciment Verre Ionomère modifié par Adjonction de Résine (CVIMAR). (103)
- Le Mineral Trioxide Aggregate (MTA®) est un matériau intéressant du fait d'une induction rapide de la formation du pont dentinaire et d'une facilité d'utilisation. En revanche, les dyschromies qu'il entraîne et son coût élevé le desservent (102)
- La BiodentineTM se présente sous la forme d'une capsule contenant des silicates tricalciques et dicalciques, de l'oxyde de zirconium (radio-opacifiant) et des carbonates de calcium, dans laquelle sont ajoutées cinq gouttes de liquide.

Le temps de prise de la BiodentineTM est plus court que celui du MTA® (104) et elle n'entraîne pas de dyschromies. Elle possède une bonne résistance à la compression. Son étanchéité est similaire à celle des CVI.

- Le Ciment verre Ionomère (CVI) : malgré l'induction de dommages modérés à la pulpe lorsqu'ils sont utilisés dans des cavités profondes, les ciments verre ionomères modifiés par ajout de résine CVIMAR, ont une biocompatibilité acceptable, des propriétés mécaniques adéquates pour des restaurations provisoires de cavités occlusales, des propriétés antibactériennes, une libération de fluorure, et une capacité à adhérer aux tissus dentaires. (97)

Certains auteurs ont montré que la micro dureté du fond carieux est significativement augmentée par l'utilisation de **Biodentine™** et de **MTA®**, mais pas par le CVI.(105)

Cependant, dans une étude de 2019, les auteurs concluent que les quatre matériaux de restauration induisent un **reminéralisation**, sans lien avec le protocole, sans différence significative entre les matériaux.

L'utilisation de la couche d'hydroxyde de calcium en fond de cavité n'apporte aucun bénéfice supplémentaire (97). De plus, dans une étude de 2014, les auteurs concluent en conseillant préférentiellement l'utilisation de matériaux **non résorbables** tels que MTA.(91)

En effet, c'est le retrait des parties superficielles de la dentine infectée et affectée ainsi que la mise en place d'une restauration coronaire étanche qui promeut l'arrêt puis la reminéralisation de la lésion carieuse. (97,98)