

NANTES UNIVERSITÉ
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2022
N° 3816

Le sondage dans le diagnostic parodontal : le point en 2022 et alternatives par techniques d'imagerie

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

DOAN Paul

Le 29/06/2022 devant le jury ci-dessous

Président : Monsieur le Professeur Assem SOUEIDAN

Assesseur : Madame le Docteur Emmanuelle RENARD

Assesseur : Madame le Docteur Fabienne JORDANA

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Assem SOUEIDAN

Co-directeur de thèse : Monsieur le Docteur Charles ALLIOT

 Nantes Université	Présidente - Pr BERNAULT Carine
 Pôle Santé UFR Odontologie	Doyen - Pr SOUEIDAN Assem
	Assesseurs Dr GAUDIN Alexis Pr LE GUEHENNEC Laurent Pr LESCLOUS Philippe

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers des C.S.E.R.D	
Mme ALLIOT-LICHT Brigitte	Mme LOPEZ Serena
M AMOURIQ Yves	Mme PEREZ Fabienne
Mme CHAUX Anne-Gaëlle	M. WEISS Pierre
M. LABOUX Olivier	

Professeur des Universités
M. BOULER Jean-Michel

Maitre de conférence des Universités
Mme VINATIER Claire

Professeur Emérite
M. GIUMELLI Bernard

Enseignants Associés	
M. GUIHARD Pierre (Professeur Associé)	M. MAITRE Yoann (Assistant Associé)
Mme LOLAH Aoula (Assistant Associé)	M. KOUADIO Ayepa Alain (Assistant Associé)
M. BANDIAKY Octave (Assistant Associé)	

Maitres de conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers des C.S.E.R.D	Assistants Hospitaliers Universitaires des C.S.E.R.D
M. AMADOR DEL VALLE Gilles	M. ALLIOT Charles
Mme ARMENGOL Valérie	Mme CLOUET Roselyne
Mme BLERY Pauline	M. EVRARD Lucas
M. BODIC François	M. GUILLEMIN Maxime
Mme CLOITRE Alexandra	Mme HASCOET Emilie
Mme DAJEAN-TRUTAUD Sylvie	Mme HEMMING Cécile
M. DENIS Frédéric	M. HIBON Charles
Mme ENKEL Bénédicte	Mme OYALLON Mathilde
M. HOORNAERT Alain	Mme QUINSAT Victoire Eugenie
Mme HOUCHMAND-CUNY Madline	M. REMAUD Matthieu
Mme JORDANA Fabienne	M. RETHORE Gildas
M. LE BARS Pierre	M. SERISIER Samuel
M. NIVET Marc-Henri	Mme TISSERAND Lise
M. PRUD'HOMME Tony	
Mme RENARD Emmanuelle	
M. RENAUDIN Stéphane	
M. STRUILLOU Xavier	
M. VERNER Christian	

Praticiens Hospitaliers	
Mme DUPAS Cécile	Mme HYON Isabelle

Par délibération en date du 6 décembre 1972, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

Remerciements

A Monsieur le Professeur Assem SOUEIDAN,

Doyen de l'UFR Odontologie

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier des Centres de Soins
d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Chef du Département de Parodontologie

- NANTES -

Pour m'avoir fait l'honneur de présider et diriger cette thèse,

Veillez trouver ici l'expression de mon plus grand respect ainsi que tous mes remerciements.

A Madame le Docteur Emmanuelle RENARD,

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Docteur de l'Université de Nantes - Ancien Interne des Hôpitaux de Nantes

Département de Sciences Biologiques

- NANTES –

Pour avoir accepté de siéger dans ce jury,

Pour les connaissances théoriques et pratiques que vous m'avez transmises en parodontologie,

Veillez trouver ici l'expression de mon profond respect et mes sincères remerciements.

A Madame le Docteur Fabienne JORDANA,

Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier des Centres de Soins
d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Docteur de l'Université de Bordeaux Habilité à Diriger les Recherches

Département de Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques,

Biomatériaux, Biophysique, Radiologie

- NANTES -

Pour avoir accepté de siéger dans ce jury,

Pour votre gentillesse et votre bienveillance,

Veillez trouver ici l'expression de mon profond respect et mes sincères remerciements.

A Monsieur le Docteur Charles ALLIOT,

Assistant Hospitalier Universitaire des Centres de Soins d'Enseignement et de
Recherche Dentaires Département de Parodontologie

- NANTES -

Pour avoir accepté de diriger ce travail de thèse,

Pour votre implication et vos précieux conseils dans l'élaboration de ce sujet,

Pour votre disponibilité et votre enthousiasme tout au long de ce projet,

Veillez trouver ici l'expression de ma profonde considération et mes plus sincères remerciements.

Tables des matières

Introduction	- 15 -
I. Rappels généraux de parodontologie	- 16 -
A. Anatomie du parodonte sain.....	- 16 -
B. La parodontite	- 18 -
1. Etiopathogénie de la parodontite.....	- 18 -
2. Les facteurs de risque généraux et locaux.....	- 21 -
II. Le diagnostic de la parodontite	- 22 -
A. Les signes cliniques et radiographiques	- 22 -
1. L'indice gingival	- 22 -
2. L'indice de plaque	- 23 -
3. La mobilité dentaire	- 23 -
4. La profondeur de sondage	- 24 -
5. Les récessions gingivales et la perte d'attache.....	- 28 -
6. Le saignement et la suppuration au sondage.....	- 30 -
7. Le sondage des lésions interradiculaires	- 31 -
8. Les signes radiographiques	- 32 -
B. Le dépistage de la parodontite.....	- 34 -
1. L'indice communautaire des besoins en traitements parodontaux (CPITN).....	- 34 -
2. Le Basic Periodontal Examination (BPE).....	- 36 -
3. Le Periodontal Screening and Recording Index (PSR).....	- 36 -
4. Le Community Periodontal Index (CPI)	- 37 -
5. Le Dutch Periodontal Screening Index (DPSI)	- 37 -
C. La charte parodontale	- 39 -
D. Diagnostic et classification.....	- 41 -
1. Le parodonte sain et la gingivite induite par la plaque	- 41 -
2. Les parodontites	- 43 -
a. Identification d'un cas parodontal.....	- 43 -
b. Identification du type de parodontite	- 43 -
c. Etablissement du stade et du grade	- 44 -
3. Les abcès parodontaux et les lésions endo-parodontales	- 46 -
a. Les abcès parodontaux	- 46 -
b. Les lésions endo-parodontales	- 46 -
III. Les sondes parodontales	- 48 -
A. Les générations de sonde.....	- 48 -
1. Première génération : les sondes manuelles	- 48 -
a. Forme de l'embout	- 48 -
b. Graduations	- 49 -
c. Angle	- 49 -
d. Manche	- 49 -
2. Deuxième génération : les sondes à pression constante.....	- 51 -
a. La sonde True Pressure Sensitive (TPS Probe).....	- 51 -
b. La sonde Yeaple.....	- 52 -
c. La sonde Brodonic	- 52 -
d. La Pro-DenRx© Sensor Probe	- 53 -
3. Troisième génération : les sondes à pression constante automatisées ou sondes électroniques.....	- 53 -
a. La sonde Foster-Miller	- 54 -
b. La sonde Toronto.....	- 54 -
c. La sonde Accutec et la sonde Interprobe	- 55 -
d. La sonde Florida.....	- 56 -

e.	La Peri-Probe.....	- 58 -
f.	La sonde d'Ishihata	- 59 -
g.	La sonde PA-ON	- 59 -
B.	Les sondes de furcation	- 60 -
C.	La fiabilité et la reproductibilité du sondage.....	- 61 -
1.	Généralités.....	- 61 -
2.	Les sources d'erreur	- 61 -
3.	La duplication des mesures	- 64 -
4.	L'enseignement du sondage, la standardisation et la calibration	- 64 -
D.	La saisie vocale du charting parodontal	- 66 -
E.	La saisie des données parodontales à l'aide de claviers ou pédales spécifiques.....	- 67 -
F.	La contamination bactérienne inter-sites et la bactériémie dues au sondage	- 69 -
G.	'inconfort et la douleur ressentie lors du sondage.....	- 71 -
H.	L'usage du sondage parodontal en pratique réelle à travers le monde.....	- 73 -
IV.	Les techniques d'imagerie du parodonte comme alternative au sondage	- 77 -
A.	La Cone beam computed tomography	- 77 -
B.	L'échographie.....	- 79 -
1.	La U.S. probe	- 79 -
2.	L'échographie du parodonte.....	- 80 -
C.	La tomographie en cohérence optique (OCT).....	- 82 -
D.	La capillaroscopie endoscopique	- 85 -
E.	La spectroscopie dans l'infrarouge proche	- 86 -
F.	L'imagerie photoacoustique	- 87 -
G.	L'imagerie par résonance magnétique	- 91 -
	Conclusion.....	- 95 -
	Bibliographie	- 97 -
	Tables des figures	- 115 -
	Table des tableaux	- 117 -
	Liste des abréviations	- 118 -

INTRODUCTION

La gingivite et la parodontite sont des maladies parodontales fréquemment rencontrées dans la population. Elles présentent un risque d'altération de la qualité de vie et constituent donc un problème de santé publique majeur. Le rôle du chirurgien-dentiste est de dépister ces maladies, d'établir un diagnostic clair et d'organiser sur le long terme les thérapeutiques adaptées à chaque patient.

Afin d'obtenir des informations sur le parodonte, il est possible de procéder à un sondage parodontal. Cet examen consiste à introduire une sonde parodontale graduée entre la gencive et la dent jusqu'à rencontrer une résistance ; la profondeur de sondage mesurée ainsi que la présence ou non de saignements et de suppurations provoqués sont alors relevées. D'une part, cela permet de différencier le sulcus sain de la poche parodontale pathologique de plus de 3 mm ; et d'autre part, le saignement nous renseigne sur l'état inflammatoire local de la gencive. Le sondage permet ainsi de déterminer la perte d'attache clinique et le saignement au sondage qui sont des signes nécessaires à l'établissement du diagnostic parodontal.

Depuis les premières descriptions des sondes parodontales au XIX^{ème} siècle, les sondes parodontales ont, certes, été améliorées mais leur principe reste relativement inchangé. Ainsi, elles présentent toujours certaines limites dans leur utilisation. Il paraît dès lors justifié de se demander s'il existe des alternatives afin de représenter la topographie de l'attache gingivale ainsi que l'état inflammatoire de la gencive. Des pistes sont à explorer du côté de l'imagerie médicale des tissus mous qui a beaucoup évolué ces dernières décennies.

Quelles sont les connaissances scientifiques et les recommandations concernant la manière de sonder en 2022 ? Comment s'effectue le sondage parodontal à travers le monde ? Quelles sont les limites de ce geste technique ?

Avec les progrès récents en matière d'imagerie, existe-t-il aujourd'hui des technologies nous permettant d'observer l'attache de la gencive sur la dent ? Existe-t-il des moyens d'évaluer l'inflammation gingivale sans provoquer de saignement ? Est-il possible d'utiliser l'imagerie médicale comme alternative efficace au sondage dans le diagnostic parodontal ?

Ce travail bibliographique a pour objet premier l'étude du sondage parodontal et son implication dans le diagnostic ; ceci afin d'explorer par la suite les perspectives dans le domaine de l'imagerie les plus à même de remplacer le sondage.

I. RAPPELS GENERAUX DE PARODONTOLOGIE

A. ANATOMIE DU PARODONTE SAIN

Le parodonte est l'ensemble des tissus entourant et soutenant la dent. La fonction principale du parodonte est de maintenir les dents dans les maxillaires et de maintenir l'intégrité des surfaces des muqueuses masticatoires de la bouche (1).

La partie visible du parodonte, la gencive, peut être qualifiée de parodonte superficiel (2).

On distingue classiquement deux types de gencives en continuité (1) :

- La partie la plus coronaire, la **gencive libre** (ou marginale), forme un col de 1 à 2 mm sertissant la dent. Elle n'est pas attachée à la dent et il se forme ainsi un espace virtuel entre la gencive et la surface dentaire qui correspond au sillon gingivodentaire ou sulcus.
- Plus apicalement en vestibulaire et lingual, on retrouve la **gencive attachée** qui est adhérente à l'os alvéolaire et au cément supracrestal sur 2 à 4 mm. Elle est séparée de la muqueuse alvéolaire par la ligne muco-gingivale.

La **gencive interdentaire** forme des papilles dont la forme est déterminée par l'espace disponible entre les dents, les zones de contacts et les crêtes alvéolaires (3).



Figure 1. Photographie des incisives supérieures et de leur parodonte superficiel (2).

Gencive libre (GL), gencive attachée (GA) et ligne muco-gingivale (LMG)

En palatin, il n'existe pas de gencive attachée. La gencive marginale palatine est en continuité avec la fibromuqueuse du palais dur.

La gencive est couverte d'épithélie en continuité (1) :

- **L'épithélium oral gingival** : versant buccal de la gencive marginale et de la gencive attachée, kératinisé
- **L'épithélium oral sulculaire** : versant interne de la gencive marginale, face à l'émail sans pour autant y être au contact, non kératinisé
- **L'épithélium de jonction** : plus apicalement dans le sulcus, adhère à l'émail jusqu'à la jonction amélo-cémentaire (JAC, *cemento-enamel junction* ou CEJ), non kératinisé

Le **tissu conjonctif** gingival est un tissu dense, innervé et vascularisé par de très nombreux capillaires. Ce chorion est composé de nombreux faisceaux de collagène constituant la charpente rigide de la gencive. Ces faisceaux permettent également l'attache de la gencive à la surface dentaire et à la surface osseuse.

L'épithélium de jonction et les faisceaux conjonctifs forment **une attache épithélio-conjonctive** sur la surface dentaire. La hauteur de cette attache est appelée l'espace biologique (ou système d'attache supracrestal) et mesure en moyenne 2,15 à 2,30 mm avec une grande variabilité intra et inter-individus (4). En situation saine, l'attache épithélio-conjonctive recouvre la jonction amélo-cémentaire.

Une gencive saine présente généralement une consistance ferme, une couleur rose et une texture lisse dans sa partie libre et piquetée en peau d'orange dans sa partie attachée. Ces caractères sont variables et inconstants d'un individu à l'autre (2).

Le **parodonte profond** est, la partie sous-jacente à la gencive. Il est formé de l'os alvéolaire, du ligament alvéolo-dentaire (L.A.D ou desmodonte) et du cément (2).

L'**os alvéolaire** est un os cortical et spongieux en continuité avec l'os basal du maxillaire et de la mandibule. Il permet de supporter les forces liées aux fonctions dentaires.

Le **ligament alvéolo-dentaire** est un tissu conjonctif mou composé de fibres de collagène, situé entre l'os alvéolaire et le cément. Il a pour fonctions principales d'ancrer la dent dans son alvéole et de distribuer les forces reçues par la dent.

Le **cément** est un tissu spécialisé minéralisé à la surface de la dentine radiculaire. Il sert de point d'ancrage pour les fibres collagéniques ligamentaires et gingivales.

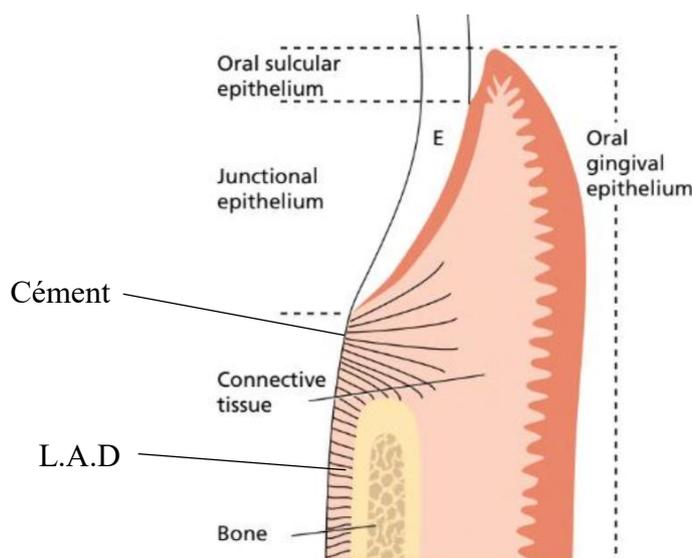


Figure 2. Le parodonte profond et le système d'attache (1).

B. LA PARODONTITE

D'après Sanz et al.,2020 (5), la parodontite est une maladie inflammatoire chronique multifactorielle associée à une **dysbiose du biofilm dentaire** et caractérisée par une **destruction progressive des tissus de soutien dentaire**. Elle peut entraîner une perte dentaire sans traitement adéquat, réduisant l'efficacité masticatoire et altérant la qualité de vie. On estime la prévalence de la parodontite sévère à 7,4 % (6) tandis que la prévalence des formes plus légères de parodontite pourrait aller jusqu'à 50 % (7).

1. Etiopathogénie de la parodontite

Physiologiquement, un certain nombre de bactéries commensales tapisse la cavité buccale et on en retrouve au niveau du biofilm situé dans le sulcus. L'épithélium de jonction étant une barrière assez perméable, les microorganismes et leurs produits peuvent passer dans le tissu conjonctif sous-jacent. Un infiltrat de cellules inflammatoires est produit dans la gencive marginale en réponse à ces pathogènes. Un parodonte cliniquement sain est caractérisé par une absence (ou un niveau minimal) d'inflammation dans un parodonte présentant un support normal (8). Il existe ainsi un équilibre entre les pathogènes et la réponse immunitaire.

Cet équilibre peut être rompu lors d'une accumulation de plaque ou pour d'autres raisons liées aux pathogènes ou à l'hôte (9). Une parodontopathie apparaît alors. L'augmentation des produits bactériens diffusant à travers l'épithélium de jonction jusque dans le tissu conjonctif provoque l'apparition d'une inflammation pathologique. La gencive est alors sujette à des changements vasculaires : elle devient œdémateuse et les capillaires sanguins se dilatent et augmentent en nombre afin d'adapter la réponse immunitaire. Des leucocytes, et plus particulièrement des polynucléaires neutrophiles (PNN) migrent dans le tissu conjonctif depuis les capillaires, passent l'épithélium de jonction et arrivent dans le sillon gingival. C'est la lésion parodontale initiale.

Dans le cas d'une accumulation de plaque durant environ une semaine, l'atteinte parodontale s'amplifie et évolue en ce qu'on appelle une lésion précoce. La gencive peut alors présenter un érythème, un gonflement et un saignement au sondage. C'est le début de la **gingivite**. Les cellules immunitaires produisent des cytokines pro-inflammatoires. Il en résulte la production de métalloprotéinases (MMPs) entraînant la destruction des fibres de collagènes autour de l'infiltrat inflammatoire.

Si l'accumulation de plaque dure plus de deux à trois semaines, on obtient une lésion établie. La gingivite est alors chronique mais toujours réversible. On note la prédominance de plasmocytes et de lymphocytes B dans la paroi gingivale. L'activité collagénolytique y est augmentée par l'action des PNN et des bactéries.

L'épithélium de jonction se détache progressivement de la surface de la dent et devient un épithélium de poche plus perméable. Ce phénomène, associé au gonflement de la gencive fait qu'au niveau de certains sites, la profondeur du sulcus augmente au sondage. On appelle **pseudo-poches** (ou fausses poches ou poches gingivales), ces sites où le sondage est augmenté sans pour autant qu'il y ait de destruction du parodonte profond.

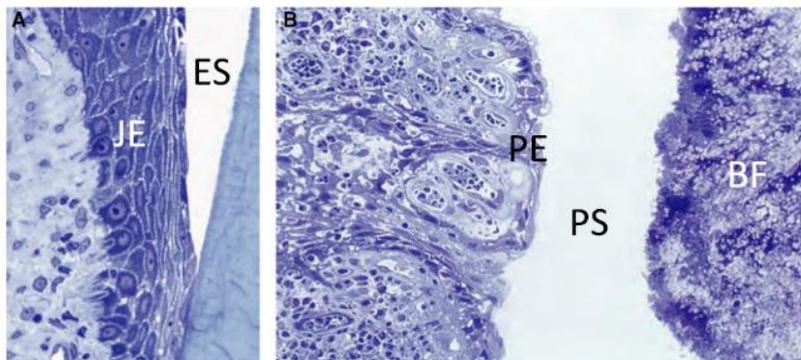


Figure 3. Au microscope optique, on remarque que l'épithélium de jonction (JE) adhère à l'émail (ES) tandis que l'épithélium de poche (PE) est séparé du biofilm couvrant la dent (BF) par l'espace de la poche (PS) (10).

Quand le biofilm n'est pas suffisamment éliminé, la gingivite évolue en **parodontite** pour une part de la population dite susceptible, chez qui on constatera alors une lésion avancée. Dans ces cas-ci, après une plus ou moins longue exposition, l'inflammation provoque des réactions en cascade aboutissant à la production et la maturation d'ostéoclastes, entraînant une perte irréversible de l'os alvéolaire sous-jacent et une **migration apicale de l'attache épithélio-conjonctive**.

On appelle alors **poche parodontale** le sulcus approfondi et situé au-dessus d'un parodonte profond réduit. On qualifie la poche de supra-osseuse lorsque sa base est située plus coronairement que l'os sous-jacent. Dans le cas contraire, la poche est qualifiée d'infra-osseuse (11).

La poche parodontale est un environnement favorable aux bactéries car le contrôle de plaque y est impossible. Celles-ci prolifèrent apicalement et ne sont jamais totalement éliminées par la réponse immunitaire. La flore bactérienne du biofilm sous-gingival évolue alors vers des pathogènes plus agressifs comme les bactéries anaérobiques Gram – formant le complexe rouge décrit par Socransky et Haffajee en 1998 (*Porphyromonas gingivalis*, *Tannerella forsythia*, *Treponema denticola*) (12,13).

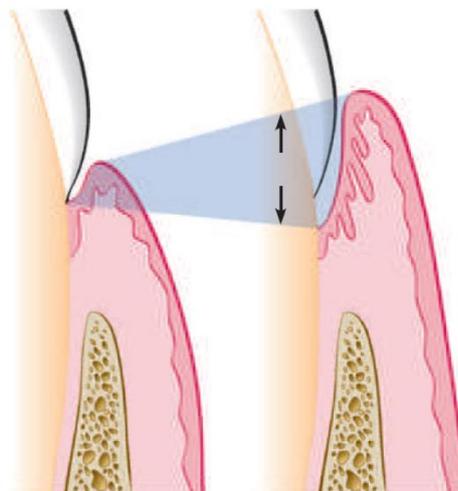


Figure 4. Expansion du sulcus gingival (à gauche) en poche parodontale (à droite) (11).

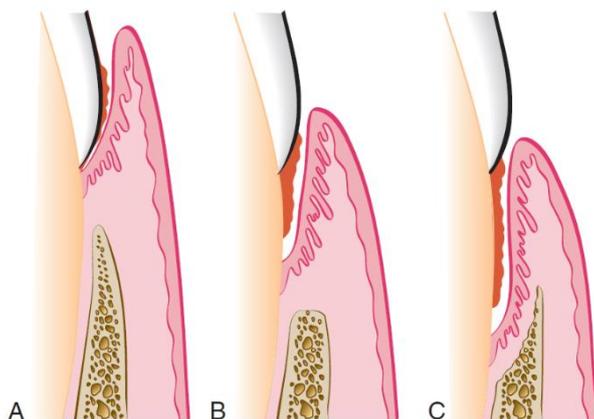


Figure 5. Dessin des différents types de poche parodontale (11).

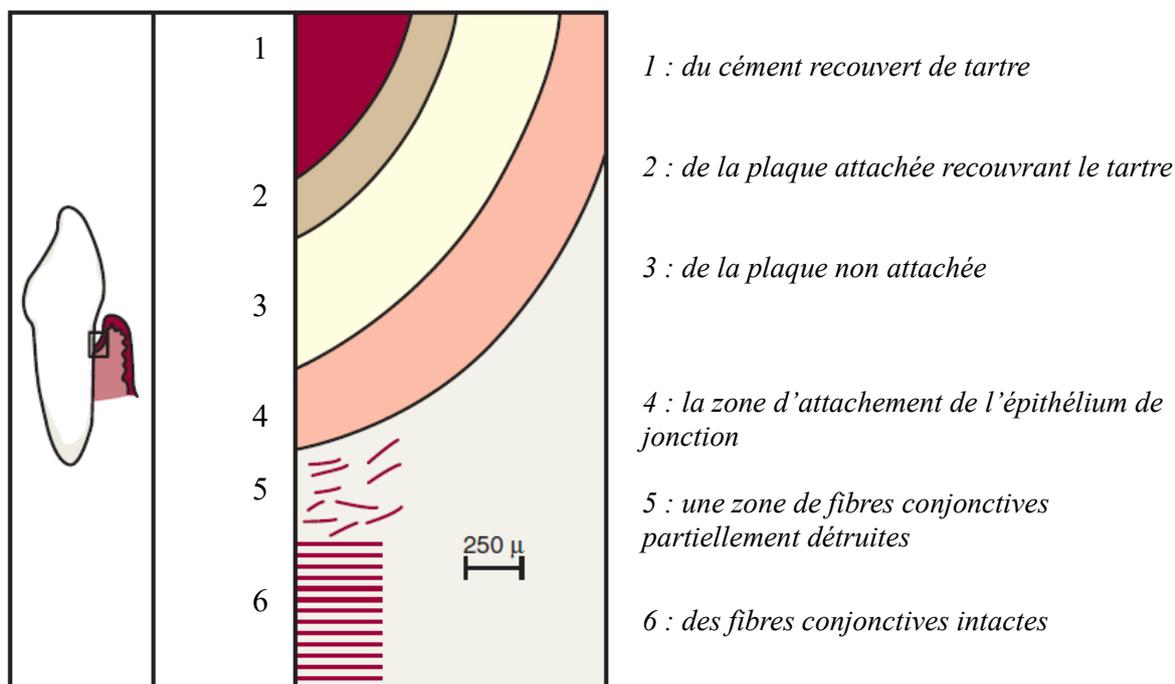
A : pseudo poche.

B : poche parodontale supraosseuse.

C : poche parodontale infraosseuse.

Cela crée un cycle continu de perte d'attache, de résorption de l'os alvéolaire et d'approfondissement de la poche (14). La perte d'attache se fait par épisodes aigus périodiques au cours de la vie d'un individu. Au niveau de chaque site, on remarque une alternance des poussées de maladie parodontale destructrices allant de quelques jours à quelques semaines suivis des phases plus longues de rémission (15).

Figure 6. Au fond d'une poche parodontale, on trouve (11) :



1 : du ciment recouvert de tartre

2 : de la plaque attachée recouvrant le tartre

3 : de la plaque non attachée

4 : la zone d'attachement de l'épithélium de jonction

5 : une zone de fibres conjonctives partiellement détruites

6 : des fibres conjonctives intactes

2. Les facteurs de risque généraux et locaux

La parodontite étant une maladie impliquant le système immunitaire, certaines pathologies systémiques peuvent favoriser l'apparition et/ou la progression de la parodontite (16,17); on peut noter :

- des pathologies métaboliques comme le **diabète**
- des pathologies immunologiques innées ou acquises comme le **SIDA**
- certaines maladies génétiques
- certaines pathologies inflammatoires comme la **polyarthrite rhumatoïde**
- le stress et la dépression
- la malnutrition
- la prise de certains médicaments

D'autres facteurs généraux peuvent influencer sur la parodontite comme :

- l'hérédité
- les désordres endocriniens physiologiques comme la grossesse
- le sexe
- l'âge

On compte aussi des facteurs locaux contribuant au développement d'une parodontite (12):

- l'**hygiène bucco-dentaire**
- les facteurs de rétention de plaque : malpositions, restaurations débordantes, etc...
- des facteurs traumatiques/dysfonctions comme le bruxisme
- la consommation de **tabac**

II. LE DIAGNOSTIC DE LA PARODONTITE

La maladie parodontale étant la plupart du temps un processus long, complexe et peu symptomatique, une fraction limitée des patients consulte pour un motif purement parodontal. Le chirurgien-dentiste a pour tâche de dépister l'apparition, de diagnostiquer l'atteinte et d'empêcher l'évolution des parodontites chez chaque patient.

Afin d'avoir une vision d'ensemble sur le patient et son état de santé, le chirurgien-dentiste doit, tout d'abord, recueillir les antécédents médicaux et l'historique dentaire (18). Il dispose ensuite d'un certain nombre d'outils, de signes et d'instruments lui permettant de poser un diagnostic qualitatif et quantitatif sur l'atteinte parodontale.

A. LES SIGNES CLINIQUES ET RADIOGRAPHIQUES

Lors d'un examen clinique et radiographique du parodonte, il convient de répertorier certains signes affirmant la présence et constatant l'étendue d'une parodontite. Nous en détaillerons les principaux dans cette partie.

Il est parfois nécessaire d'effectuer un détartrage avant l'examen parodontal approfondi afin d'éliminer le tartre supra-gingival et une partie du tartre sous-gingival pour avoir un accès visuel et tactile simplifié à certains repères (18,19). En effet, une quantité importante de tartre accumulée au niveau du bord gingival peut, entre autres, cacher la jonction amélo-cémentaire, rendre difficile le sondage parodontal, réduire la mobilité dentaire et/ou augmenter l'inflammation et la présence de pseudo-poches (20).

Par la suite, il convient de commencer l'examen clinique par une évaluation visuelle du parodonte avant de procéder au sondage parodontal afin de ne pas provoquer de saignement rendant l'examen visuel plus complexe et de ne pas engendrer d'inconfort prématuré pour le patient.

1. L'indice gingival

Afin d'évaluer l'inflammation gingivale, plusieurs indices ont été conçus au fur et à mesure du temps (21).

L'indice gingival modifié (22) utilise des scores dérivant de l'indice gingival de Löe-Silness (23) en excluant la composante du saignement au sondage. Ainsi, l'examen est purement visuel et nous donne un score de 0 à 4 à appliquer classiquement au niveau des quatre à six sites entourant chaque dent (vestibulaire, lingual, mésial, distal OU mésio-vestibulaire, vestibulaire, disto-vestibulaire, mésio-lingual, lingual, disto-lingual). De par sa nature qualitative, l'indice gingival a pour défaut d'être variable d'un examinateur à l'autre (24).



Figure 7. L'indice gingival modifié (25).

0 = absence d'inflammation

1 = inflammation légère ou avec de faibles changements de couleur et de texture sur une partie de la gencive marginale ou papillaire

2 = inflammation légère ou avec de faibles changements de couleur et de texture sur toute la gencive marginale et papillaire

3 = inflammation modérée : surface brillante, érythémateuse, œdème et/ou hypertrophie de la gencive marginale ou papillaire

4 = Inflammation sévère : érythème marqué, œdème et/ou hypertrophie ou saignement spontané ou ulcération de la gencive.

2. L'indice de plaque

Pour évaluer l'hygiène bucco-dentaire du patient, on relève la présence de plaque dentaire non éliminée par le brossage sur la surface des dents et au niveau du sillon gingival. De nombreux indices existent pour évaluer la quantité de plaque dentaire (26).

L'un des indices les plus largement utilisé est **l'indice de contrôle de plaque d'O'Leary** (27). On utilise un révélateur de plaque pour noter la présence ou l'absence de plaque au niveau de quatre à six sites de chaque dent. Un score sur 100 est ensuite établi en faisant le rapport du nombre de sites présentant de la plaque sur le nombre total de sites. Un score inférieur à 10% est considéré comme une hygiène correcte.

3. La mobilité dentaire

La perte de tissus de soutien de la dent peut résulter en l'augmentation de la mobilité de la dent. Pour l'évaluer, on tient généralement la dent entre deux instruments métalliques ou entre un doigt et un instrument métallique. La mobilité pathologique due à la parodontite est le plus souvent dans l'axe vestibulo-lingual. On peut noter que la mobilité est augmentée sur une dent en cas de trauma occlusal (11).

Dans la pratique clinique, la **classification de Mühlemann** (28) est couramment utilisée :

- Mobilité 0 : aucune mobilité (dent ankylosée)
- Mobilité I : mobilité physiologique perceptible à la palpation mais non visible
- Mobilité II : déplacement < 1 mm dans le sens transversal
- Mobilité III : déplacement > 1 mm dans le sens transversal
- Mobilité IV : déplacement axial

4. La profondeur de sondage

La **profondeur de poche** (*pocket depth* ou PD), varie d'un site à l'autre en fonction de l'atteinte parodontale. On la mesure au niveau des six sites de chaque dent en introduisant une sonde parodontale graduée dans le sillon gingival, dans l'axe de la dent et parallèlement à la surface de la dent.

Généralement, chaque portion du sulcus ou de la poche est sondée en « promenant » la sonde autour de chaque dent et la valeur la plus profonde retrouvée sur chaque site est relevée (18). Dans les études épidémiologiques, seul le milieu de chaque site est sondé généralement afin de gagner du temps (29).

On distingue deux profondeurs de poches différentes : la **profondeur biologique ou histologique** et la profondeur clinique ou **profondeur de poche au sondage** (*probing pocket depth* ou PPD).

- La **profondeur biologique** est la distance entre le bord de la gencive marginale et la base du sulcus ou de la poche, c'est-à-dire le niveau le plus coronaire de l'épithélium de jonction qui est attaché à la surface dentaire. C'est une mesure que l'on ne peut retrouver que sur des coupes histologiques.
- La **profondeur de sondage**, quant à elle, est la distance entre le bord de la gencive marginale et la base de la partie accessible à la sonde du sulcus ou de la poche, c'est-à-dire le niveau où la sonde s'arrête.

Les positions de l'extrémité de la sonde les plus intéressantes au niveau du diagnostic parodontal sont le fond du sulcus ou de la poche, c'est-à-dire quand la profondeur de sondage équivaut à la profondeur biologique et le niveau le plus coronaire de l'attache conjonctive (30). Ceci afin de mesurer la perte d'attache causée par la parodontite. L'intérêt de la profondeur de sondage réside donc dans le fait qu'elle peut servir à retrouver une estimation de la profondeur biologique et du niveau de l'attache conjonctive.



Figure 8. Sondage d'une poche parodontale vestibulaire (31).

La pénétration de la sonde dans le sillon peut varier en fonction de la force d'introduction, de la forme et de la taille de sa pointe, de la direction de pénétration, du degré de résistance des tissus, de la convexité de la couronne et du degré d'inflammation des tissus (32). La force transmise et l'axe de sondage sont en partie contrôlables par l'opérateur. Le diamètre est propre à la sonde sélectionnée. La résistance des tissus, quant à elle, est propre au site sondé et en grande partie due à l'état inflammatoire de la gencive.

Une certaine **pression** (P) est nécessaire pour surpasser la **résistance des tissus gingivaux** (R) afin de pénétrer dans le sillon gingival avec une sonde parodontale. Plus la pression est grande, plus la profondeur de sondage augmente (33). Cette pression au niveau de la pointe de la sonde est proportionnelle à la force transmise par l'opérateur et inversement proportionnelle la surface de la pointe de la sonde (34).

Avec une sonde ronde, la pression P équivaut à :
$$P = \frac{F}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

Ainsi, on note qu'un changement de diamètre de la pointe de la sonde a un effet bien plus important sur la pression exercée qu'un changement dans la force transmise par l'opérateur.

Figure 9. Deux sondes de diamètre différents insérées dans le sillon à la même force ne s'enfoncent pas autant et ne donnent pas les mêmes valeurs de profondeurs de sondage (35).

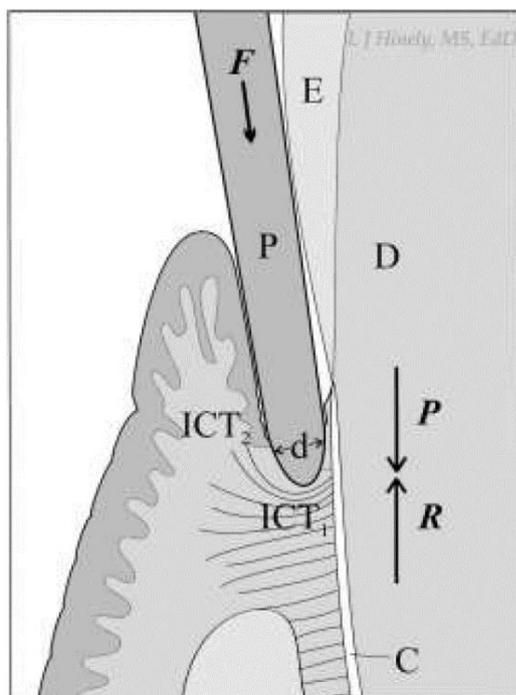
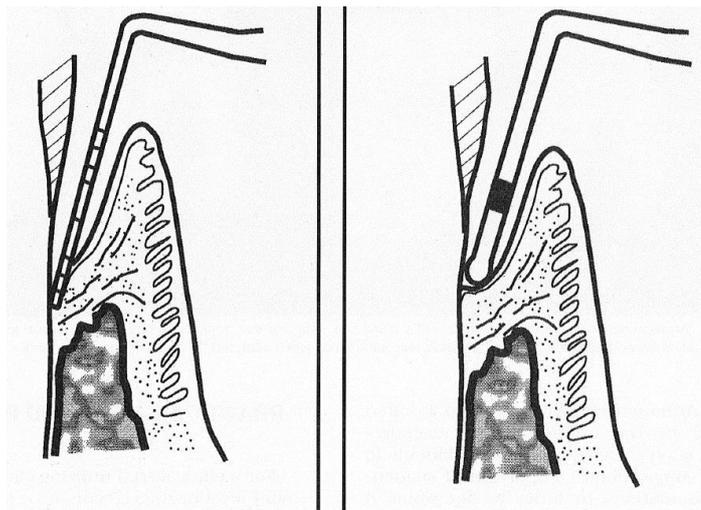


Figure 10. Schéma des forces relatives à l'insertion d'une sonde dans le sillon gingival (34).

- P : sonde (ou probe)
- F : force
- d : diamètre de la pointe de la sonde
- P : pression
- R : pression de résistance des tissus
- ICT_1 : aire d'inflammation à la base de la sonde
- ICT_2 : aire d'inflammation latérale à la sonde
- E : émail
- D : dentine
- C : ciment

La profondeur de poche clinique, ou profondeur de sondage, est la valeur mesurée au niveau du bord gingival de la sonde quand la pression de sondage est égale à la résistance des tissus ($P=R$) (34).

De nombreuses études ont été menées sur des sujets animaux et humains afin de déterminer le niveau histologique de pénétration d'une sonde dans un sulcus et dans une poche parodontale. Avec différentes forces et différents diamètres de sonde, la pointe de la sonde arrive à différents niveaux histologiquement.

A de **faibles pressions** (51 N/cm² et 76 N/cm²), la sonde a des risques de ne pas entrer dans le sillon (36,37).

Au contraire, avec de **fortes pressions** (241 N/cm² (33) et 780 N/cm² (38)), la sonde peut traverser l'épithélium de jonction jusqu'à arriver dans le tissu conjonctif sous-jacent. La sonde est alors arrêtée par une condensation du tissu conjonctif intact poussé par l'extrémité de la sonde (38).

La pénétration de la sonde dans la poche est accentuée par l'inflammation (39). Ainsi, dans un sillon sujet à l'**inflammation** comme dans le cas de gingivite ou de parodontite, la pointe de la sonde aura tendance à **traverser l'épithélium de jonction** et à passer dans le tissu conjonctif à des pressions moins importantes.

D'après une méta-analyse de Larsen et al. (40), l'augmentation de la profondeur de poche imputable à l'accroissement de la pression de sondage est doublée dans les sites enflammés. Ainsi, la profondeur de sondage augmente en moyenne de 0,004 mm par augmentation de pression de 1 N/cm² dans des sites enflammés contre 0,002 mm dans des sites sains ou traités.

Dans des **sites enflammés**, une sonde conique ayant une pointe de 0,5 mm de diamètre à 0,15, 0,20 et 0,25 N (soit des pressions respectives de : 76 N/cm², 102 N/cm² et 127 N/cm², cf. Annexe 1) se situe bien au niveau de la profondeur biologique. Bulthuis et al. considèrent que la pression de **127N/cm²** semble mieux convenir au diagnostic parodontal initial car elle offre une pression permettant de rentrer aisément dans les poches avec une précision égale aux pressions plus faibles (37).

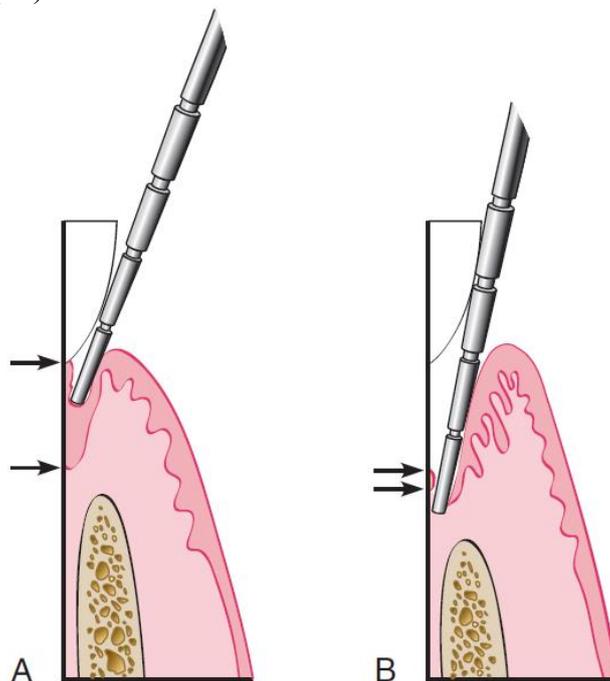


Figure 11. A pression constante (II) :

A : Dans un sulcus sain, la sonde pénètre d'environ un tiers de la longueur de l'épithélium de jonction (entre les flèches)

B : Dans une poche enflammée, la sonde pénètre au-delà de la terminaison apicale de l'épithélium de jonction (entre les flèches)

Après traitement étiologique consistant à une élimination de la plaque et du biofilm sous gingival et aboutissant le plus souvent à la formation d'un épithélium de jonction allongé, on note une réduction de la profondeur de sondage à pression constante. Celle-ci peut s'expliquer en partie par la réduction de l'inflammation et un moindre passage de la sonde à travers l'épithélium de jonction devenu plus résistant (41).

Barendregt et al. (36) suggèrent que, dans des **sites en maintenance** où l'inflammation est réduite et la résistance des tissus contre la pénétration de la sonde est plus importante, une pression d'approximativement **250 N/cm²** peut être nécessaire pour atteindre la base de la poche.

		Force exercée par l'opérateur sur la sonde en N et approximation en gramme-force													
		10g 0,1	15g 0,15	20g 0,2	25g 0,25	30g 0,3	35g 0,35	40g 0,4	45g 0,45	50g 0,5	55g 0,55	60g 0,6	65g 0,65	70g 0,7	75g 0,75
Diamètre de la pointe (en mm)	0,3	1,41	2,12	2,83	3,54	4,24	4,95	5,66	6,37	7,07	7,78	8,49	9,20	9,90	10,61
	0,4	0,80	1,19	1,59	1,99	2,39	2,79	3,18	3,58	3,98	4,38	4,77	5,17	5,57	5,97
	0,5	0,51	0,76	1,02	1,27	1,53	1,78	2,04	2,29	2,55	2,80	3,06	3,31	3,57	3,82
	0,6	0,35	0,53	0,71	0,88	1,06	1,24	1,41	1,59	1,77	1,95	2,12	2,30	2,48	2,65
	0,7	0,26	0,39	0,52	0,65	0,78	0,91	1,04	1,17	1,30	1,43	1,56	1,69	1,82	1,95
	0,8	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,99	1,09	1,19	1,29	1,39	1,49
	0,9	0,16	0,24	0,31	0,39	0,47	0,55	0,63	0,71	0,79	0,86	0,94	1,02	1,10	1,18
	1	0,13	0,19	0,25	0,32	0,38	0,45	0,51	0,57	0,64	0,70	0,76	0,83	0,89	0,95

Tableau 1. Tableau des pressions s'exerçant au niveau de la pointe de la sonde en fonction de la force transmise par l'opérateur et du diamètre de la pointe de la sonde en N/mm² (multiplier par 100 pour obtenir des N/cm²). Source : Auteur

Les valeurs surlignées en jaune correspondent à la plage de pression la plus adaptée pour l'évaluation du parodonte enflammé d'après Bulthuis et al. (76 à 127 N/cm²) (37). Les valeurs en vert correspondent à la plage de pression la plus adaptée pour l'évaluation du parodonte en maintenance d'après Barendregt et al. (250 N/cm² ± 40 N/cm²)(36).

On peut en conclure qu'à pression constante, en présence d'inflammation, l'extrémité de la sonde pénètre la base de l'épithélium de jonction et surestime la profondeur de poche. Tandis qu'en l'absence d'inflammation, la sonde n'atteint pas la base de l'épithélium de jonction et a tendance à sous-estimer la profondeur de poche (42).

En dépit de cette incertitude, le sondage parodontal fournit au clinicien un moyen simple et relativement reproductible d'évaluer la santé du parodonte car la présence de faibles profondeurs de sondage oriente le diagnostic vers parodonte sain en l'absence d'autres indicateurs de maladie parodontale (41). D'un point de vue clinique, il est important pour un patient donné de toujours utiliser la même force et la même sonde à chaque sondage parodontal afin d'avoir une pression constante permettant de comparer l'évolution des profondeurs de sondages de manière reproductible dans le temps.

5. Les récessions gingivales et la perte d'attache

La perte d'attache des tissus parodontaux sur la dent résulte de la migration apicale de l'attache épithélio-conjonctive de la gencive. La migration de cette attache peut provoquer une exposition de la jonction amélo-cémentaire dans la poche. Au fur et à mesure de la progression apicale de la gencive, la jonction amélo-cémentaire puis la racine s'exposent aussi dans la cavité buccale bouche et peuvent être détectée à l'examen visuel.

La part perdue de gencive laisse la racine visible en bouche et forme ce qu'on appelle une **récession gingivale**. Il est nécessaire d'évaluer la hauteur des récessions gingivales dues à la parodontite. On utilise pour cela une sonde parodontale graduée afin de mesurer la distance entre la jonction amélo-cémentaire et le bord gingival au niveau des six sites de la dent (11).

La perte d'attache clinique (*clinical attachment loss* ou CAL) quantifie cette perte d'attache en prenant la JAC comme point de référence. On la mesure comme la distance entre la JAC et le fond de la partie sondable de la poche (43). Afin d'identifier la JAC, on incline la sonde de 45° afin de sentir la discontinuité tactile (44).

A : Quand le bord gingival coïncide avec la JAC, la CAL est égale à la profondeur de sondage.

B : Quand le bord de la gencive marginale est situé au niveau de la couronne anatomique, la perte d'attache clinique est déterminée en soustrayant la distance entre le bord gingival et la jonction amélo-cémentaire à la profondeur de sondage. Si les deux sont égales, la perte d'attache clinique est nulle.

C : Quand le bord gingival est plus apical que la JAC, c'est-à-dire dans le cas de récession gingivale, la CAL est supérieure à la PPD et est égale à la somme de la récession et de la PPD.

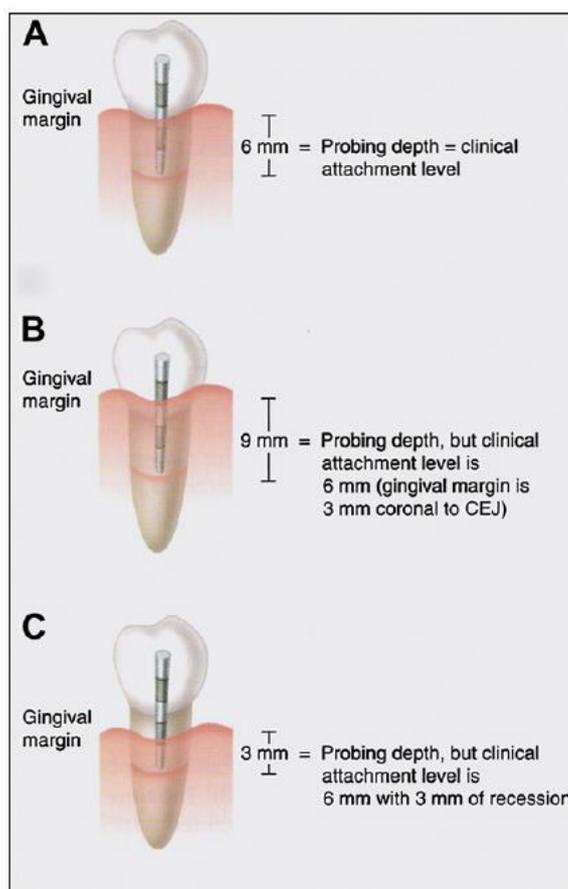


Figure 12. La mesure de la perte d'attache selon le niveau du bord gingival (43).

CAL et PPD ne sont pas forcément corrélées, on peut retrouver par exemple :

- une CAL élevée avec une faible PPD dans le cas de récession gingivale importante mais sans poche
- une profondeur de sondage augmentée sans la moindre perte d'attache dans le cas de pseudo-poches

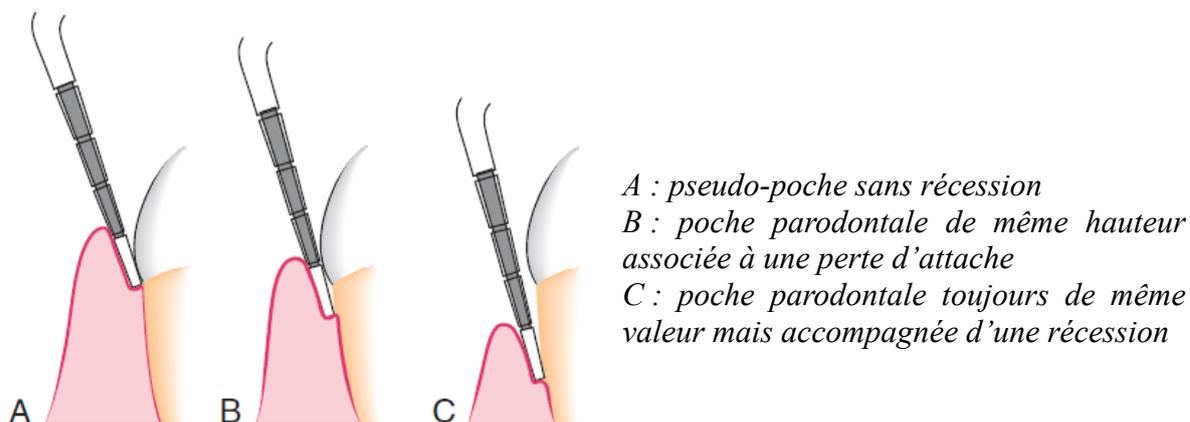


Figure 13. La même profondeur de poche avec différentes valeurs de récession (11).

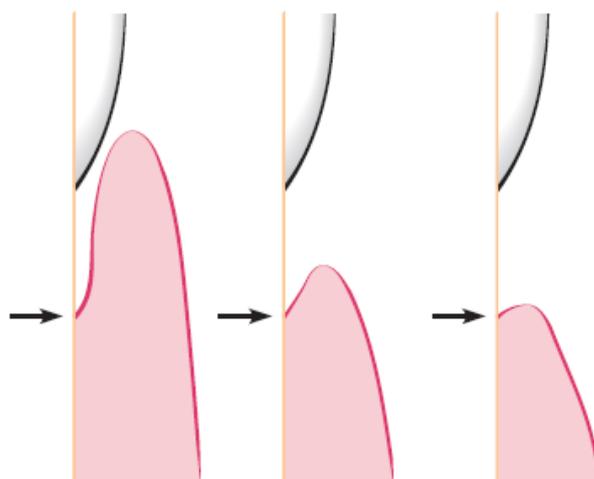


Figure 14. Différentes profondeurs de poche avec le même niveau de perte d'attache clinique (11).

La perte d'attache clinique est un paramètre clinique plus fiable dans le temps que la profondeur de sondage pour quantifier la migration apicale de l'attache parodontale (45). En effet, le bord gingival peut migrer coronairement à cause de l'œdème associé à l'inflammation, ce qui n'en fait pas un repère durable pour quantifier les dommages parodontaux (18). La profondeur de poche est une mesure de l'activité actuelle d'un site tandis que la perte d'attache clinique est un indicateur de la destruction parodontale cumulée au cours du temps (46). Pour ces raisons, la perte d'attache clinique interdentaire a été désignée comme le paramètre clinique déterminant la parodontite dans la **classification parodontale de 2017** (47).

6. Le saignement et la suppuration au sondage

L'insertion d'une sonde parodontale dans le sillon gingival peut provoquer un **saignement**. Comme vu précédemment, la sonde parodontale s'enfonce plus facilement dans un tissu gingival enflammé. La présence de saignement au sondage est associée à la quantité de tartre sous gingival (48) et à la profondeur de sondage (49). Selon la sévérité de l'inflammation, le saignement peut aller d'un simple liseré rouge le long du sillon gingival à un écoulement profus. Le saignement peut arriver dès le retrait de la sonde ou quelques secondes après.

Une trop forte pression de sondage augmente aussi les saignements d'origine traumatique, diminuant ainsi la pertinence du signe clinique (50,51). Il est important d'appliquer une **force douce inférieure à 0,25 N**. De nombreux facteurs influent aussi sur le saignement comme le diamètre de la sonde et l'angulation de l'insertion (44).

Plusieurs indices ont essayé de quantifier le saignement gingival provoqué par différents instruments, que ce soit au niveau du délai avant saignement ou de son ampleur (21), ceci afin de diagnostiquer et surveiller la parodontite.

Le **saignement au sondage** (*bleeding on probing* ou BOP) doit être évalué au niveau de chacun des six sites sondés lors de la mesure de la profondeur de sondage avec une pression légère. La proportion des sites saignant au sondage correspond alors à ce qu'on appelle le **score BOP**.

La présence d'un saignement au sondage n'est pas un indicateur fiable d'inflammation gingivale mais l'absence de saignement au sondage est un signe fiable d'absence d'inflammation (32). Il faut cependant prendre en compte le fait que le saignement est moins présent chez les fumeurs (49).



Figure 15. Insertion d'une sonde parodontale dans un sillon gingival provoquant un saignement (52).

L'insertion d'une sonde parodontale peut aussi provoquer la sortie d'un exsudat blanc-jaunâtre par le sillon gingival. Le fluide gingival, sortant par l'épithélium de poche et de jonction, devient purulent en présence de neutrophiles en abondance (11). La suppuration est un signe rare, présent dans 3 à 5% des sites atteints de parodontite et elle est généralement perçue comme un signe localisé de gravité qu'il convient de relever (32).

7. Le sondage des lésions interradiculaires

La perte d'attache due à la parodontite peut résulter au niveau des dents pluriradiculées, en une **atteinte de furcation**, c'est-à-dire une résorption de l'os interradiculaire.

Une lésion interradiculaire est explorée dans le plan horizontal en introduisant une sonde spécifique, comme la **sonde de Nabers**, dans le sillon gingival le long des concavités interradiculaires vers la furcation (11). Le relevé des lésions interradiculaires peut donc généralement se faire au niveau des sites vestibulaires, mésio-palatins et disto-palatins des molaires maxillaires ; au niveau des sites mésiaux et distaux des premières prémolaires maxillaires ; et au niveau des sites vestibulaires et linguaux des molaires mandibulaires.

La **classification de Hamp** (53) est généralement utilisée pour quantifier la perte osseuse dans le sens horizontal :

- les lésions de classe 1 présentent moins de 3mm de perte d'attache horizontale ;
- celles de classe 2 sont des lésions non transfixiantes de plus de 3mm, dites en cul-de-sac
- celles de classe 3 sont des lésions transfixiantes.

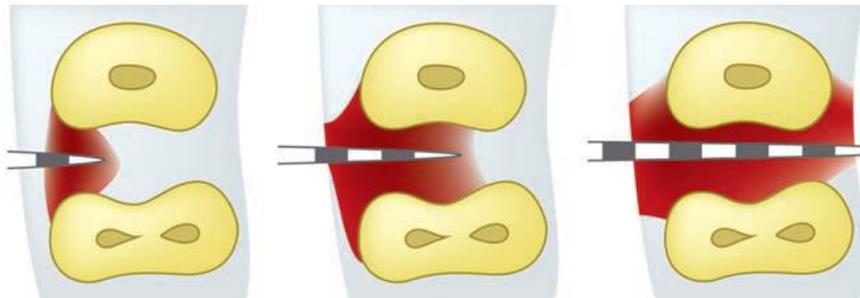


Figure 16. Classification des lésions interradiculaires selon Hamp (54)

Walter et al. subdivisent la classe 2 en classe 2 où la perte d'attache horizontale est comprise entre 3 et 6 mm et classe 2-3 et où la perte d'attache est de plus de 6mm sans s'étendre totalement à travers la furcation, c'est-à-dire sans que la sonde soit visible de l'autre côté (55).

La composante verticale est évaluée en sondant avec une sonde droite verticalement à partir du sommet de la furcation et détermine les sous-classes A, B et C (respectivement 0 à 3 mm, 3 à 6 mm et plus de 6 mm) (56).

L'anatomie des furcations étant variable et généralement explorée de manière tactile par la sonde, l'insertion d'une sonde courbée le long de la surface dentaire est plus difficile qu'au niveau des surfaces planes des dents monoradiculées. La dimension de l'entrée de la furcation est variable mais généralement assez étroite : 81% des furcations ont un orifice de 1mm ou moins et 58% de moins de 0,75mm (57). Le sommet de la furcation étant ainsi généralement inaccessible à la sonde de par la taille de son entrée, le sondage des sites de furcations ne mesure pas tant le niveau d'attache des tissus mous au niveau des surfaces radiculaires comme lors du sondage parodontal ordinaire mais plutôt la profondeur de pénétration de la sonde dans le tissu conjonctif enflammé de la furcation (58).

La détection précoce des atteintes interradiculaires est essentielle. En effet, une dent présentant une lésion de classe 1 non traitée voit ses chances de survie diminuer (59). A l'inverse, une lésion de classe 1 interceptée et traitée de manière non chirurgicale ne présente pas de risque de perte majoré (60). De plus, les lésions de classes 2 et 3 nécessitent des traitements plus complexes, souvent chirurgicaux, pour réduire le risque de perte dentaire (5).

8. Les signes radiographiques

La **radiographie intraorale** conventionnelle et la **radiographie panoramique** (ou orthopantomogramme) aident le praticien à constater et suivre la sévérité et l'étendue de la destruction osseuse due à la parodontite en complément de l'examen clinique. Les radiographies montrent des changements dans les **tissus durs calcifiés** ; ils ne révèlent pas l'activité cellulaire actuelle mais plutôt les effets passés sur l'os et les dents.

L'examen radiographique parodontal ou **status parodontal** comprend la prise d'au moins **14 clichés rétroalvéolaires** et de **4 clichés rétrocoronaires** (ou *bitewings*). La radiographie panoramique permet aussi d'obtenir une vue des arcades dentaires, de leur rapports et des structures parodontales environnantes (11).

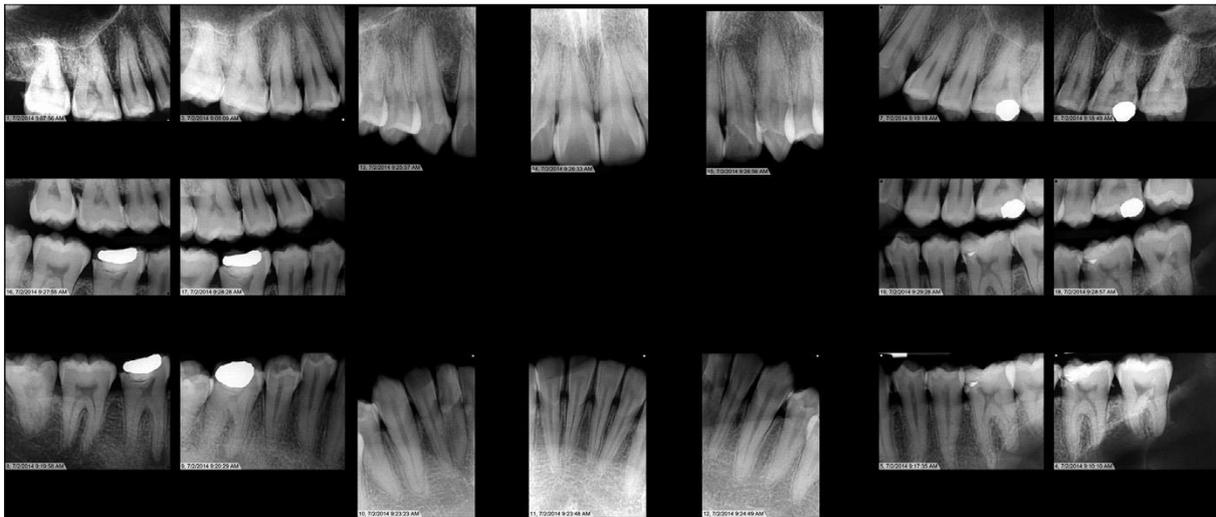


Figure 17. Exemple de status parodontal complet (61) :

- une radiographie rétroalvéolaire de chaque secteur molaire, prémolaire, canin et incisif (14 clichés)
- 1 radiographie rétrocoronnaire bimaxillaire (bitewing) de chaque secteur molaire et prémolaire (4 clichés)

La radiographie utilisant des rayonnements ionisants, il est indispensable de ne l'utiliser qu'avec parcimonie selon le principe ALARA (*As Low As Reasonably Achievable* ou aussi faible que raisonnablement possible), parfois nommé ALADA (*As Low As Diagnostically Acceptable* ou aussi faible que diagnostiquement acceptable) (62).

La radiographie permet notamment de visualiser :

- **L'alvéolyse radiographique** : entre le niveau osseux physiologique, situé aux alentours de 2 mm sous la jonction amélo-cémentaire et la crête alvéolaire visible à la radiographie, on peut mesurer la perte osseuse interdentaire. On représente généralement ce rapport en pourcentage d'alvéolyse. Le status radiographique permet de contrôler la distribution de la destruction osseuse au niveau de chaque dent. Un changement dans une radiographie intraorale est une preuve de progression de la parodontite (61).
- **Les atteintes de furcation** : en complément du sondage de furcation, la radiographie permet de détecter des lésions interradiculaires sous la forme de lésions radio-claires (63).
- **Les traumas occlusaux** : l'épaisseur de la lamina dura, la morphologie de la crête alvéolaire, l'épaisseur du desmodonte et la densité de l'os spongieux peuvent être modifiés en cas de trauma occlusal (11).



Figure 18. Radiographie rétroalvéolaire du secteur molaire maxillaire droit (64).
On remarque une alvéolyse radiographique au niveau du premier tiers de 14, 15, 16 et 17 ainsi qu'une atteinte de furcation entre les racines vestibulaires de 16.



Figure 19. Radiographie rétroalvéolaire centrée sur 23 (65).
On peut noter autour de cette dent un épaissement de la lamina dura, une ouverture de l'espace desmodontal (flèche rouge) et des lésions osseuses verticales (flèches vertes) indiquant un trauma occlusal.

Il faut cependant rappeler que les clichés radiographiques superposent en deux dimensions des éléments anatomiques tridimensionnels et que l'image dépend donc de l'angulation du film et de l'incidence des rayons, ce qui peut faire varier l'estimation de la sévérité des signes vus précédemment. Ainsi, les clichés radiographiques ont tendance à sous-estimer les atteintes parodontales (66). Il est parfois nécessaire de prendre plusieurs clichés avec différentes incidences pour obtenir les informations désirées.

L'alvéolyse osseuse visible entre deux radiographies intraorales prises dans des conditions proches (angulation, contraste, intensité) est bien corrélée à la perte d'attache clinique. Des techniques de soustraction digitale de radiographie (*digital subtraction radiography, DSR*) permettent de percevoir de manière quantitative ces différences (67).

L'insertion d'embouts de sondes radio-opaques ou de cônes de gutta-percha dans la poche permet de mettre en relation la profondeur de sondage clinique et l'image radiographique et de conserver un cliché comparable dans le temps (68).

B. LE DEPISTAGE DE LA PARODONTITE

Afin de dépister les parodontites lors d'études épidémiologiques, de nombreux indices ont été créés afin d'écourter et simplifier l'évaluation minutieuse de ces différents signes cliniques et radiographiques. Ces indices synthétisent les données et permettent de décrire le statut parodontal d'un individu de manière concise, selon un barème gradué. La standardisation des valeurs permet de comparer entre elles et de suivre dans le temps les populations étudiées sur les mêmes critères (69,70).

Certains indices ont aussi une utilisation clinique dans le dépistage de parodontite au cabinet dentaire. Ils servent ainsi durant les contrôles pour dépister les parodontites avec un sondage méthodique. En cas de découverte de signes indiquant une parodontite, un bilan parodontal donnant un diagnostic précis doit être effectué.

Une procédure de dépistage doit être simple, rapide et capable d'identifier une parodontite débutante. La sensibilité de cette procédure doit être élevée afin de ne pas passer à côté de patients parodontaux nécessitant un traitement (71).

1. L'indice communautaire des besoins en traitements parodontaux (CPITN)

L'indice communautaire des besoins en traitements parodontaux (*Community Periodontal Index for Treatment Needs* ou **CPITN**) a été conçue en 1982 par Ainamo et ses collègues (72) à l'initiative de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (70). Le but de cet outil épidémiologique est d'enregistrer rapidement et simplement l'atteinte parodontale maximale dans toute la bouche afin de déterminer le traitement parodontal adéquat.

La bouche est divisée en 6 parties numérotées appelées « sextants » (cf. figure 20). Chaque sextant comporte au moins deux dents fonctionnelles (s'il n'y en a qu'une elle sera comptée avec le sextant voisin).

Lors d'études épidémiologiques, seules dix dents (11, 16, 17, 26, 27, 31, 36, 37, 47, 46) sont sondées le long du sillon gingival vestibulaire et lingual avec une sonde standardisée (cf. tableau 10) afin de déterminer un code ou score (cf. Tableau 2) (73).

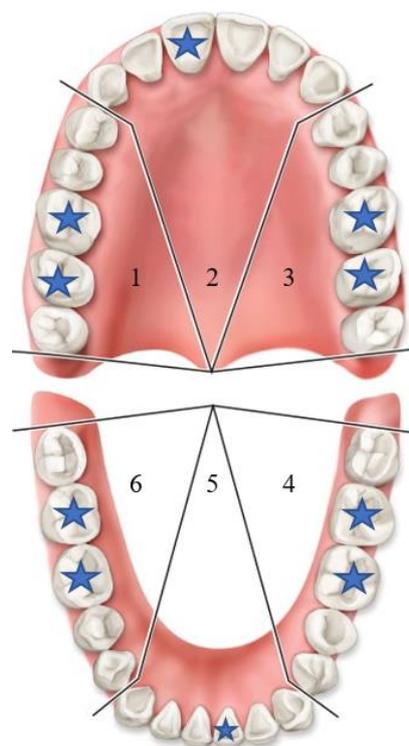


Figure 20. Division de la bouche en sextants et dents évaluées (avec une étoile) (74).

Code 0	Pas de saignement au sondage, pas de tartre, pas de poche
Code 1	Présence de saignement au sondage, pas de tartre, pas de poche
Code 2	Présence de tartre ou d'obturation débordante, pas de poche
Code 3	Poche de 4 à 5 mm
Code 4	Poche de 6 mm minimum
Code X	Sextant édenté ou 1 dent

Tableau 2. Les codes du CPITN (72).

Seul le score le plus haut de chaque sextant est enregistré et noté dans un tableau de deux lignes et trois colonnes. En fonction des scores de chaque sextant, une catégorie de besoin en traitement (*Treatment Need* ou TN) est déterminée selon le tableau ci-dessous :

TN 0	Si score 0 ou X dans les 6 sextants	le besoin en soin est nul
TN 1	Si aucun sextant ne dépasse le score 1	besoin d'améliorer l'hygiène orale personnelle
TN 2	Si aucun sextant ne dépasse le score 3	Détartrage, suppression des obturations débordantes et enseignement de l'hygiène bucco-dentaire
TN 4	Si au moins un sextant atteint 4	Pour ce sextant, besoin d'un traitement chirurgical complexe ; pour le reste selon TN respectif

Tableau 3. Les besoins en traitement du CPITN (72).

3	1	4
3	2	X

Figure 21. Exemple de relevé du CPITN. Ici le patient aurait besoin d'un détartrage global, de la suppression des obturations débordantes, d'un enseignement de l'hygiène bucco-dentaire et d'un traitement complexe sur le troisième sextant. Source : auteur

Le CPITN a pour avantage d'être simple et rapide à relever car peu de gestes cliniques sont nécessaires. De plus, ses résultats sont uniformisés pour une meilleure utilisation épidémiologique. Ceci explique qu'il ait été utilisé dans plus de 500 publications (70).

Cependant, il présente certains défauts (75) :

- Ses principes hiérarchiques ne sont pas valides dans tous les cas : par exemple, la présence de poches (Code 3 et 4) n'est pas systématiquement accompagnée de saignement et de tartre (Code 1 et Code 2 respectivement)
- L'approche en bouche partielle (*partial mouth*) sur dix dents peut sous-estimer la prévalence des poches profondes dans les études épidémiologiques
- Le CPITN donne des résultats déformés de la prévalence et de la sévérité de la destruction parodontale en réduisant chaque mesure à un score par sextant

2. Le Basic Periodontal Examination (BPE)

Le *Basic Periodontal Examination* (Examen parodontal basique ou BPE) a été développée en 1986 par la Société Britannique de Parodontologie (*British Society of Periodontology* ou BSP). Cet indice est une **application clinique du CPITN** pour dépister rapidement les parodontites chez tous les nouveaux patients.

Toutes les dents de chaque sextant sont examinées au niveau des six sites avec la même sonde que le CPITN et en reprenant les mêmes codes. La principale différence vient du fait que l'opérateur rajoute un astérisque à ce code lorsqu'il détecte la présence d'une **atteinte de furcation** dans le sextant correspondant (76).

Certaines recommandations quant aux suites diagnostiques ont été énoncées (77).

- Pour les patients présentant un **code 0, 1 ou 2**, le BPE doit être **réalisé à chaque examen** de routine.
- Pour les patients présentant un sextant de **code 3**, un **charting** de six sites par dent ainsi que des **radiographies** doivent être réalisés dans **ce sextant uniquement**.
- Pour les patients présentant un sextant de **code 4**, un **charting** et un **examen radiographique** de la **denture complète** doivent être réalisés.

3. Le Periodontal Screening and Recording Index (PSR)

Le *Periodontal Screening and Recording index* (PSR, Indice de dépistage et d'enregistrement parodontal) est une **version modifiée du CPITN** développée à partir de 1988 par l'Académie Américaine de Parodontologie (*American Academy of Periodontology* ou AAP) afin de pouvoir être **utilisée cliniquement**. Cet indice est principalement utilisé aux Etats-Unis et au Canada (70).

Le PSR est quasiment identique au BPE mais, ici, l'astérisque sert à relever toute anomalie gingivale dans un sextant comme une **atteinte de furcation, une mobilité dentaire augmentée, des problèmes muco-gingivaux ou des récessions gingivales** de plus de 3,5mm (78).

Le PSR a pour avantages de permettre une détection précoce des parodontites tout en étant simple, rapide et peu coûteux en matériel. La saisie et l'archivage des résultats sont simplifiés via le diagramme d'enregistrement ce qui permet un suivi conforme aux exigences juridiques (79).

Toutefois, le PSR présente les mêmes défauts que le CPITN. A cela s'ajoute le fait que l'ajout d'astérisque ne permet pas de discriminer les anomalies gingivales a posteriori (78).

Le principal défaut du BPE et du PSR est de ne pas identifier les patients ayant des antécédents de parodontite, comme ils sont basés sur le saignement et la profondeur de poche, plutôt que sur la perte d'attache et la perte osseuse (76).

4. Le Community Periodontal Index (CPI)

En se basant sur les limites identifiées par un certain nombre d'auteurs, l'OMS a proposé une évolution du CPITN en CPI (*Community Periodontal Index*, Indice parodontal communautaire ou CPI) en 1997. Les principaux changements sont l'ajout du critère de **perte d'attache** et la **suppression de la notion de besoin en traitement** (70). La perte d'attache clinique est mesurée à l'aide de la sonde WHO (cf. tableau 10) le long des sillons vestibulaires et linguaux des dix dents de référence ou de toutes les dents.

Les autres mesures sont faites de la même manière que pour le CPITN sur les dix dents référentes ou sur toutes les dents (80).

Code 0	0 à 3 mm
Code 1	4 à 5 mm
Code 2	6 à 8 mm
Code 3	9 à 11 mm
Code 4	12 mm ou plus
Code X	Sextant non pris en compte (moins de deux dents présentes)
Code 9	Donnée non enregistrée (ligne émail-cément ni visible, ni décelable)

Tableau 4. Les codes de perte d'attache clinique dans le CPI (80).

5. Le Dutch Periodontal Screening Index (DPSI)

En 1998, la Société Néerlandaise de Parodontologie (*Nederlandse Vereniging voor Parodontologie* ou NVvP) a proposé une **version modifiée du CPITN** : le *Dutch Periodontal Screening Index* (Indice de dépistage parodontal néerlandais ou DPSI). Cet indice a été introduit en Belgique en 2006 et est depuis remboursé presque intégralement une fois par an (81). Le but est, comme pour le PSR et le BPE, d'apporter un outil de dépistage rapide des parodontites aux dentistes. Chaque dent des six sextants est sondée avec la sonde WHO (cf. tableau 10) pour établir un score pour chaque sextant. Un besoin en diagnostic et en traitement est ensuite déterminé. La principale différence avec le CPITN vient du **code CPITN 3** qui est **subdivisé en 3- et 3+ dans le DPSI** pour apporter la notion de récession et donc de perte d'attache (71).

Score DPSI		Besoin en traitement associé	
0	Pas de sondage de plus de 3mm, pas de tartre, pas de restauration débordante, pas de saignement au sondage	A	Pas de traitement indiqué
1	Pas de sondage de plus de 3mm, pas de tartre, pas de restauration débordante, <i>présence de saignement au sondage</i>		Enseignement de l'hygiène bucco-dentaire (EHBD)
2	Pas de sondage de plus de 3mm, <i>tartre et/ou de restauration débordante</i> et présence de saignement au sondage		EHBD et détartrage
3 -	<i>Poches de 4 à 5 mm</i> sans récession gingivale	B	Charting parodontal localisé, EHBD, détartrage et surfaçage radiculaire
3 +	<i>Poches de 4 à 5 mm</i> avec <i>récession gingivale</i>		C
4	<i>Poches de plus de 6 mm</i>		

Tableau 5. Les scores et besoins en traitement associés du DPSI d'après Meers et al. (81).

Afin de simplifier la mise en œuvre d'études épidémiologiques de dépistage de parodontite, de nombreux protocoles, réduisant le nombre de sites sondés ont vu le jour ; que ce soit en limitant le nombre de quadrants examinés ou en diminuant le nombre de sites par dent examinés (82).

En dépit des économies de temps et de ressources humaines et financières dans des études épidémiologiques d'amplitude, ces enregistrements en bouche partielle (*partial mouth*) ont tendance à sous-estimer la prévalence de maladies parodontales et à provoquer des erreurs de classification et doivent donc être utilisés en connaissance de cause (83,84).

Il est important de rappeler que le but de ces enregistrements partiels est bien le dépistage de parodontite dans des études épidémiologiques et que si une maladie parodontale est découverte par cette approche, un charting complet est nécessaire pour le diagnostic clinique parodontal du patient (85).

C. LA CHARTE PARODONTALE

En cas de parodontite dépistée, un examen parodontal complet ou bilan parodontal évaluant les signes cliniques évoqués plus haut (cf. II.A), est nécessaire.

Les données répertoriées lors de l'examen parodontal doivent être conservées sur un support appelé charte parodontale (ou parodontogramme, ou *charting*). La charte parodontale est un enregistrement durable de ces données médicales utilisées dans le diagnostic et le pronostic. Elle sert à élaborer un plan de traitement et à évaluer la réponse aux traitements dans le temps.

Il en existe de nombreux modèles au **format papier ou numérique** proposés par les logiciels dentaires ou disponibles en ligne sous forme de tableurs. Le choix d'un modèle en particulier dépend des préférences de chaque praticien. Un charting doit être simple à remplir, à lire et à corriger et contenir toutes les informations collectées durant un examen parodontal, c'est-à-dire les dents absentes, la présence d'implants dentaires, la présence de plaque, la profondeur de sondage, le niveau du bord gingival, la perte d'attache clinique, le saignement au sondage, la suppuration, les mobilités et les atteintes de furcation (18).

Les chartings sous forme numérique doivent répondre aux questions de disponibilité, d'intégrité et de confidentialité des données médicales.

La saisie du charting requiert généralement la **présence d'un assistant dentaire** notant les valeurs énoncées par l'opérateur sur l'ordinateur, à la fois pour éviter les fautes d'asepsie mais aussi car l'opérateur a les mains occupées par l'examen parodontal. Avec de l'entraînement, de l'expérience et des règles concernant l'énonciation des valeurs, le duo opérateur-assistant peut réussir à limiter le nombre d'erreurs de saisie et ainsi gagner du temps.

Généralement, la présence de plaque est notée en premier avant les valeurs de profondeurs de sondage et de niveau gingival. La présence de saignement au sondage n'apparaît qu'ensuite. Les chartings numériques calculent généralement la perte d'attache clinique automatiquement en additionnant la profondeur de sondage et la mesure de la distance entre la JAC et le bord gingival. Il arrive donc que ces mesures doivent être saisies comme des valeurs négatives lorsque le bord gingival est coronaire à la JAC (86).

Les chartings numériques offrent souvent des informations synthétiques permettant une communication aisée avec le patient et renforcent donc l'éducation thérapeutique (87). Les valeurs globales des différents indices sont parfois calculées, comme par exemple la proportion de sites ayant de la plaque dentaire, ce qui permet au patient de mieux comprendre pourquoi il souffre de maladie parodontale. De plus, les schémas représentant de manière graphique la sévérité des pertes d'attaches selon les secteurs de la bouche montrent au patient l'ampleur de la destruction parodontale (18).

Après le traitement initial, lors des réévaluations et des maintenances, il est nécessaire de réaliser à nouveau un examen parodontal accompagné d'un charting. En comparant les chartes avant et après traitement, il est ainsi possible de déterminer les gains et les pertes d'attache cliniques selon la réponse de chaque site au traitement. Certains chartings numériques calculent automatiquement ces différences.

STATUS PARODONTAL

Date 03/02/2022

Nom de famille DOE

Prénom John

Date de naissance 01/01/1950

Examen initial

Reevaluation

Praticien Paul DOAN

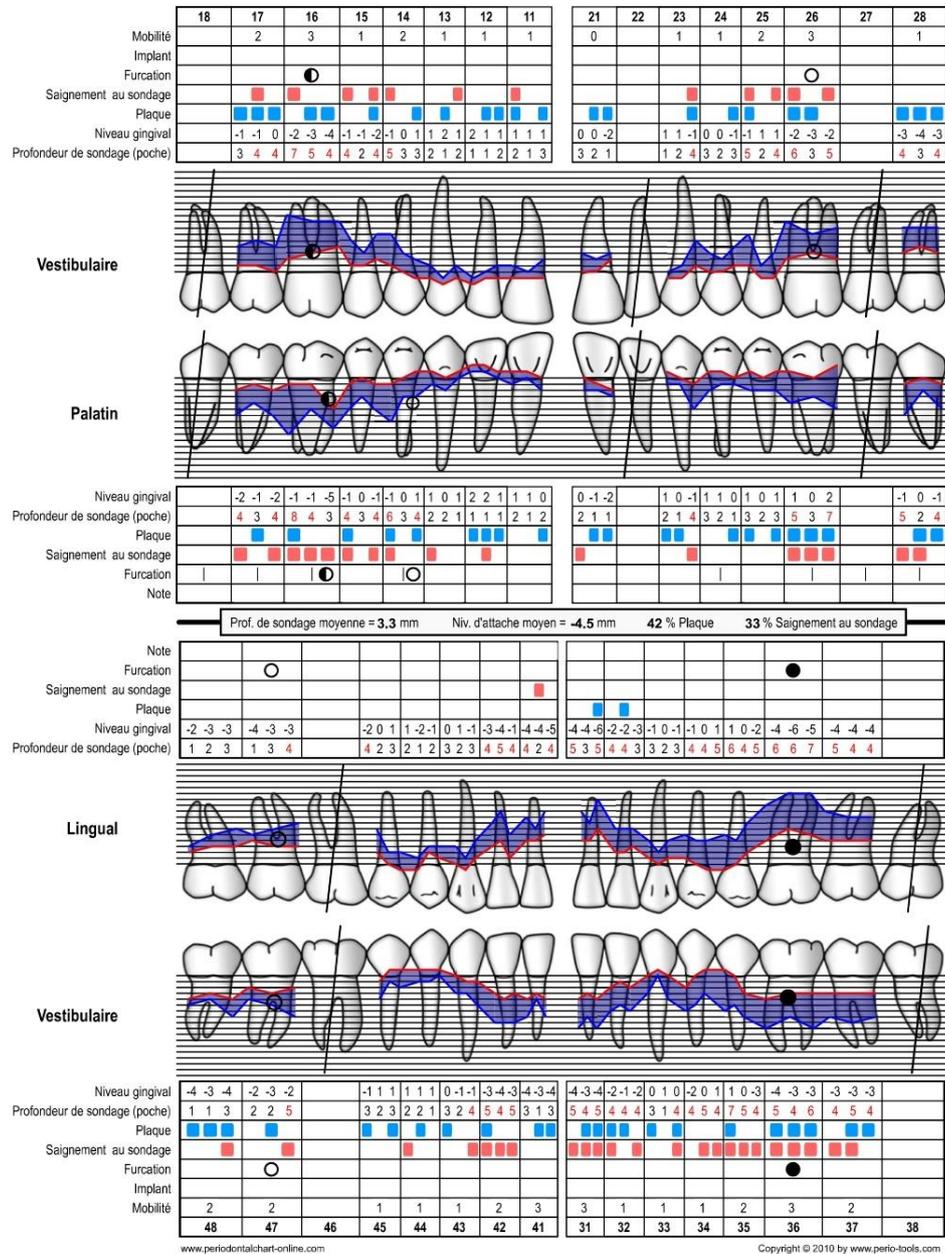


Figure 22. Exemple d'un type de charte parodontale complète saisie sur <https://www.periodontalchart-online.com/fr/> (88).

Le schéma représentant les dents, le niveau gingival, la profondeur de poche et les atteintes de furcations permet de mieux se rendre compte de la perte d'attache.

Les atteintes de furcation de classe 1 sont représentées par un cercle vide, celles de classe 2 par un cercle à moitié rempli et celles de classe 3 par un disque plein. On remarque que les valeurs de niveau gingival sont ici négatives en cas de récession. La perte d'attache est calculée automatiquement et reportée au niveau des gradations sur les dents du schéma mais sa valeur n'est pas indiquée numériquement.

La profondeur de sondage moyenne, le niveau d'attache moyen, l'indice de plaque et le pourcentage de sites saignants au sondage sont calculés automatiquement.

D. DIAGNOSTIC ET CLASSIFICATION

Avec l'ensemble des signes cliniques et radiographiques, il est possible de poser un diagnostic concernant une éventuelle maladie parodontale. La dernière classification des maladies et conditions parodontales a été **définie en 2017** suite à la conférence regroupant l'Académie Américaine de Parodontologie et la Fédération Européenne de Parodontologie (89).

Nous allons nous intéresser aux maladies parodontales dans lesquelles les signes cliniques issus du sondage parodontal servent particulièrement la démarche diagnostique (en gras dans le tableau 6).

Santé parodontale, maladies et conditions gingivales (21,90)				
Santé parodontale et santé gingivale	Gingivites induites par le biofilm dentaire		Maladies gingivales non induites par le biofilm dentaire	
Parodontites (17,47,91)				
Maladies parodontales nécrosantes	Parodontites		Parodontites comme manifestations de maladies systémiques	
Autres conditions affectant le parodonte(17,47)				
Maladies ou conditions systémiques affectant le tissu de soutien parodontal	Abcès parodontaux et lésions endo-parodontales	Anomalies et conditions muco-gingivales	Forces occlusales traumatiques	Facteurs dentaires et prothétiques

Tableau 6. Classification du Workshop de Chicago 2017 des conditions et pathologies parodontales (89).

1. Le parodonte sain et la gingivite induite par la plaque

D'après Lang et Bartold (8), on définit quatre niveaux de santé parodontale en fonction du niveau d'attache parodontale et de la capacité à contrôler facteurs de risques et les résultats relatifs du traitement :

- 1) **La santé parodontale parfaite**, sans le moindre signe d'inflammation clinique et sur un support parodontal intact. C'est une situation peu à même d'être observée cliniquement où l'on noterait l'absence totale de sondage supérieure à 3 mm, de saignement au sondage et de perte d'attache.
- 2) **La santé parodontale clinique**, avec une absence ou un niveau très faible des indicateurs cliniques de l'inflammation que sont les saignements au sondage et les sondages de plus de 3 mm, sur un support parodontal intact.
- 3) **La stabilité d'une parodontite**, après un succès thérapeutique, où les signes cliniques de la maladie ne semblent pas s'aggraver en étendue ou en sévérité malgré le support parodontal réduit et où les facteurs de risques sont contrôlés
- 4) **La rémission/contrôle d'une parodontite**, où le traitement a résulté en une réduction partielle de l'inflammation et des améliorations au niveau des profondeurs de sondage et des niveaux d'attaches sur un support parodontal réduit, en dépit d'un contrôle limité des facteurs locaux et généraux

Le Workshop de 2017 a pour la première fois défini les critères cliniques permettant de différencier la santé parodontale de la gingivite/inflammation gingivale (8,90).

Sur un **parodonte intact comme sur un parodonte réduit pour une cause autre que la parodontite** (élongation coronaire ou certaines formes de récession gingivale), on définit la santé parodontale par une **profondeur de sondage inférieure ou égale à 3 mm** et par un **saignement au sondage strictement inférieur à 10%**. Le parodonte réduit sans antécédent de parodontite présente une perte d'attache et peut présenter une perte osseuse déterminée radiologiquement.

Dans le cas de saignement au sondage de plus de 10%, on diagnostique un cas de **gingivite** induite par le biofilm en cas d'absence de signe de maladie gingivale non induites par le biofilm dentaire.

Sur un parodonte dont la **parodontite a été traitée avec succès et est stabilisée**, on définit cliniquement la santé parodontale par une **profondeur de sondage inférieure ou égale à 4mm** et un **saignement au sondage strictement inférieur à 10%**. Aucun site ayant une profondeur de sondage de 4 mm ne doit saigner au sondage pour être considéré comme sain. Le parodonte présente une perte d'attache et une perte osseuse déterminée radiologiquement.

Dans le cas de saignement au sondage de plus de 10%, on préférera le terme « inflammation gingivale » plutôt que « gingivite ». En effet, bien que ces deux termes signifient la même chose d'un point de vue technique, il a été décidé qu'on ne pouvait pas avoir un patient qui était défini à la fois comme un cas de parodontite et un cas de gingivite.

Le seuil de la santé sur un parodonte réduit chez un patient traité avec succès pour sa parodontite a été fixé à moins de 3 mm pour les enquêtes épidémiologiques, où il est important de dépister tous les cas de parodontite, et à moins de 4 mm (mais sans saignement au sondage sur les sites à 4mm) pour les soins cliniques afin d'éviter le surtraitement des sites de 4mm ne saignant pas.

La gingivite ou l'inflammation gingivale est **localisée lorsque < 30 % des dents sont touchées**, et **généralisée lorsque ≥ 30 % des dents sont touchées**.

2. Les parodontites

Afin de diagnostiquer une parodontite, il convient (91):

- D'identifier un patient comme cas parodontal
- D'identifier le type de parodontite
- De décrire le tableau clinique et les autres éléments qui influencent la gestion thérapeutique, le pronostic et les répercussions à la fois sur la santé bucco-dentaire et systémique.

a. Identification d'un cas parodontal

Dans le contexte des soins cliniques, un patient est un « cas de parodontite » si une **perte d'attache interdentaire est détectable sur au moins deux dents non adjacentes**, ou si une **perte d'attache vestibulaire ou linguale de plus de 3 mm avec des poches de strictement plus de 3 mm est détectable sur au moins deux dents** (91).

La perte d'attache observée ne peut pas être attribuée à des causes non liées à la parodontite telles que :

- une récession parodontale d'origine traumatique
- des caries dentaires s'étendant dans la région cervicale de la dent
- une perte d'attache sur la face distale d'une deuxième molaire et associée à une malposition ou à l'extraction d'une troisième molaire
- une lésion endodontique drainant à travers le parodonte marginal
- la survenue d'une fracture verticale radiculaire

b. Identification du type de parodontite

Trois formes de parodontites clairement différentes sur le plan physiopathologique ont été identifiées (91) :

- la parodontite nécrosante
- la parodontite comme manifestation directe de maladies systémiques
- la parodontite

On distingue la **parodontite nécrosante** de par son tableau caractéristique : douleur, présence d'une ulcération du bord marginal de la gencive, présence de dépôts de fibrine sur des sites caractérisés par des papilles décapitées et/ou exposition de l'os alvéolaire marginal.

La **parodontite comme manifestation directe de maladies systémiques** est diagnostiquée en présence de pathologies susceptible de modifier définitivement la réponse immunitaire de l'hôte. Il est alors recommandé de suivre la classification de la maladie primaire selon la Classification internationale des maladies (CIM-11).

Les cas parodontaux ne relevant pas des parodontites nécrosantes et des parodontites comme manifestation directe de maladies systémiques sont simplement qualifiées de **parodontites**.

c. Etablissement du stade et du grade

La parodontite doit ensuite être caractérisée à l'aide d'un système de **quatre stades** et **trois grades** (47,91).

L'évaluation du **stade** se fait à l'aide de **mesures radiographiques et des mesures cliniques** consignées dans le charting parodontal et a pour but d'évaluer **la sévérité, l'étendue et la complexité du traitement**. Le stade est attribué en fonction de la dent la plus affectée.

En pratique, les CAL n'étant pas systématiquement relevées par les dentistes lors du diagnostic parodontal, la BSP a proposé que l'attribution du stade se fasse uniquement par l'évaluation radiographique (76).

		Stade I	Stade II	Stade III	Stade IV
Sévérité	Perte d'attache au niveau du site interproximal le plus atteint	1 à 2 mm	3 à 4 mm	≥ 5mm	≥ 5mm
	Perte osseuse radiologique	Tiers coronaire (<15%)	Tiers coronaire (de 15% à 30%)	Étendue au tiers moyen ou au tiers apical de la racine	Étendue au tiers moyen ou au tiers apical de la racine
	Perte dentaire	Aucune liée à la maladie parodontale		Perte de ≤ 4 dents liées à la maladie parodontale	Perte de ≥ 5 dents liées à la maladie parodontale
Complexité	Locale	Profondeur de sondage maximale ≤4mm	Profondeur de sondage maximale ≤4mm	En + du stade II : Profondeur de sondage ≥ 6mm Perte osseuse verticale ≥ 3mm	En + du stade III, nécessité d'une réhabilitation complexe liée à des : - Dysfonctions masticatoires, - Traumas occlusaux secondaires (mobilité dentaire de degré ≥ 2) - Défaut crestal sévère - Manque de calage, déviations - Moins de 20 dents restantes (10 paires opposées)
		Perte osseuse essentiellement horizontale	Perte osseuse essentiellement horizontale	Atteinte furcataire de classe II ou III Léger défaut crestal	
Etendue	À rajouter au stade	Pour chaque stade, indiquer si elle est localisée (<30% des dents), généralisée ou touchant les molaires/incisives			

Tableau 7. Stades de la parodontite d'après Papapanou et al. (47).

L'attribution du **grade** sert à estimer le **risque de progression de la parodontite et la réponse au traitement espérée** ainsi qu'à estimer les potentiels effets de la parodontite sur la santé générale et inversement.

L'estimation du grade doit se faire en priorité par l'indice direct que représente la perte d'attache ou alvéolyse radiographique des cinq dernières années, si des clichés radiographiques récents sont disponibles. A défaut, l'évaluation des indices indirects, c'est-à-dire des ratios pourcentage d'alvéolyse/âge et quantité de plaque/destruction parodontale doivent être utilisés.

Les cliniciens doivent aborder le classement en supposant un taux modéré de progression (grade B) et rechercher des indices directs ou indirects d'un taux de progression élevé de la maladie qui justifieraient l'application de la note C. Le grade A est appliqué une fois la maladie arrêtée.

Si le patient présente des facteurs de risque comme la consommation de tabac et un diabète équilibré ou non, un grade plus élevé doit être attribué, indépendamment du critère principal représenté par le taux de progression.

Grade de la parodontite		Grade A : taux de progression lent	Grade B : taux de progression moyen	Grade C : taux de progression rapide	
Critères principaux	Preuve directe de progression selon les données longitudinales	Avéolyse radiographique ou perte d'attache clinique (sur 5 ans)	Aucune perte osseuse	< 2mm	> 2mm
	Preuve indirecte de progression	% lyse osseuse/âge	< 0.25	De 0.25 à 1.0	> 1.0
		Phénotype du cas	Dépôts épais de biofilm avec peu de signes de destruction	Destruction proportionnelle aux dépôts de biofilm	Destruction très importante par rapport aux dépôts de biofilm ; entités cliniques spécifiques suggérant des périodes de progression rapide et/ou un début précoce (ex, localisation molaire/incisive ; absence de réponse aux thérapeutiques conventionnelles de contrôle bactérien)
Facteurs modifiant le grade	Facteurs de risques	Tabac	Non fumeur	Fumeur < 10 cigarettes/jour	Fumeur > 10 cigarettes/ jour
		Diabète	Glycémie normale Pas de diagnostic de diabète	Diabète : HbA1c < 7,0%	Diabète HbA1c > 7,0 %

Tableau 8. Grades de la parodontite d'après Papapanou et al. (47).

3. Les abcès parodontaux et les lésions endo-parodontales

a. Les abcès parodontaux

Un abcès parodontal est une **accumulation localisée de pus** au niveau de la paroi gingivale d'une poche parodontale ou d'un sulcus, résultant en une dégradation importante des tissus. Les principaux signes ou symptômes d'abcès parodontal sont généralement une surélévation ovoïde de la gencive le long de la racine et des saignements au sondage. On peut aussi observer des douleurs, des suppurations au sondage, des sondages parodontaux profonds et une augmentation de la mobilité dentaire (47).

L'abcès parodontal peut se développer au niveau d'une poche parodontale préexistante chez des patients parodontaux non traités, en cours de traitement ou de maintenance ou bien après une antibiothérapie. Au niveau d'un site préalablement sain, un abcès parodontal est généralement dû à une impaction ou à des habitudes traumatiques (47).

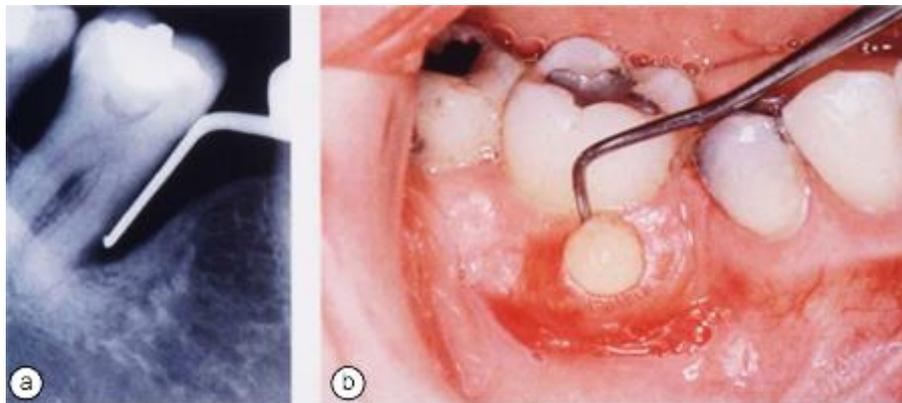


Figure 23. a) Défaut osseux angulaire sur la face mésiale de la dent 47; b) exsudat purulent au sondage de la poche parodontale profonde sur la même dent (92).

b. Les lésions endo-parodontales

Une lésion endo-parodontale est une **communication pathologique entre la pulpe d'une dent donnée et les tissus parodontaux l'entourant**. Elle peut survenir sous une forme aigüe ou chronique. Les principaux signes associés à cette lésion sont une réponse négative ou modifiée aux tests de vitalité pulpaire et des poches parodontales s'étendant jusqu'à l'apex de la racine. On peut aussi noter la présence possible de signes radiographiques indiquant une perte osseuse au niveau des régions apicales ou interradiculaires, de douleur spontanée ou provoquée par la palpation/percussion, d'un exsudat purulent ou de suppuration, d'une mobilité dentaire accrue, de fistules ou de tractus sinusaux ou bien d'altérations de la couleur de la gencive et/ou de la couronne (47).

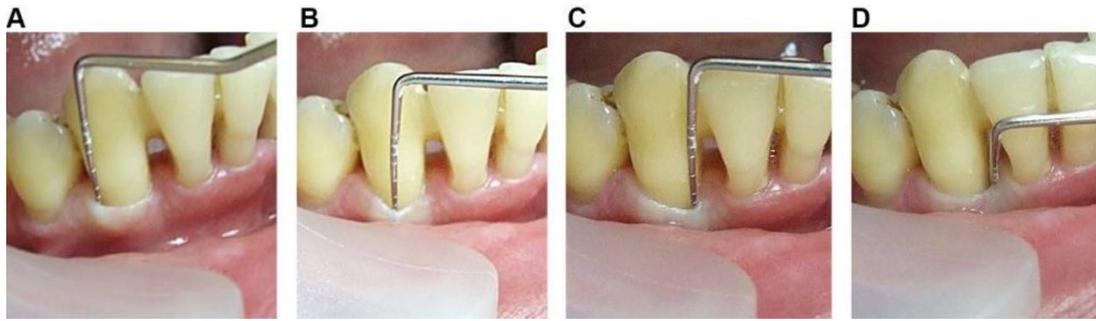
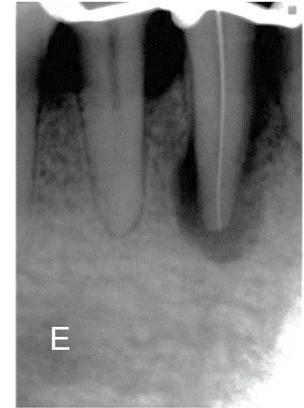


Figure 24. Sondage parodontal le long du sillon gingival d'une 43 (93) :

- au niveau du site disto-vestibulaire (A),
- du site vestibulaire (B),
- du site mésio-vestibulaire (C). La profondeur de sondage est de 2 mm au niveau de ces sites.
- Poche étroite et profonde de 8mm au niveau de la face mésiale (D).
- Radiographie endodontique per-opératoire, on peut noter le défaut osseux au niveau de l'apex et du pan mésial (E).



En cas de lésion endo-parodontale causée par des facteurs traumatiques ou iatrogéniques, on peut observer une perforation radiculaire, une fracture ou une fêlure ou une résorption externe de la racine (47).

Lésions endo-parodontales AVEC atteinte radiculaire	Fracture ou fêlure radiculaire	
	Perforation du canal radiculaire ou du plancher pulpaire	
	Résorption externe de la racine	
Lésions endo-parodontales SANS atteinte radiculaire	Lésions endo-parodontales chez des patients atteints de parodontite	Grade 1 - poche parodontale étroite et profonde sur une seule face de la dent
		Grade 2 - poche parodontale large et profonde sur une seule face de la dent
		Grade 3 - poche parodontale profonde sur plus d'une face de la dent
	Lésions endo-parodontales chez des patients sans parodontites	Grade 1 - poche parodontale étroite et profonde sur une seule face de la dent
		Grade 2 - poche parodontale large et profonde sur une seule face de la dent
		Grade 3 - poche parodontale profonde sur plus d'une face de la dent

Tableau 9. Classification des lésions endo-parodontales selon Papapanou et al. 2018 (47).

III. LES SONDES PARODONTALES

Depuis les premières descriptions d'une sonde parodontale par le dentiste américain John M. Riggs (1811-1885) (42), les sondes ont bien évolué afin d'apporter une plus grande fiabilité lors de l'examen clinique parodontal.

On peut classer les sondes parodontales selon **trois générations** (94) : les sondes manuelles, les sonde à pression constante et les sondes à pression constante automatisées.

Une sonde parodontale idéale devrait être (95) :

- Biocompatible et atraumatique pour le parodonte durant le sondage
- Adaptée à la prise de mesures précises
- Standardisée pour assurer la reproductibilité, en particulier au niveau de la pression de sondage
- Adaptée à l'usage clinique où des données précises sont nécessaires pour chaque patient et à l'usage épidémiologique comme lors de dépistages de populations
- Simple et pratique à utiliser et à lire
- Stérilisable ou à usage unique

A. LES GENERATIONS DE SONDE

1. Première génération : les sondes manuelles

La sonde parodontale manuelle est un instrument en acier inoxydable ou en plastique composée d'un **manche** et d'une **extrémité calibrée** à insérer dans le sillon gingival. Sa simplicité d'utilisation et son prix accessible fait qu'elle est toujours considérée comme le **gold standard** pour sonder le parodonte (96). Il en existe une multitude de modèles aux caractéristiques différentes. Le choix de la sonde parodontale se fait en fonction des habitudes de l'opérateur.

a. Forme de l'embout

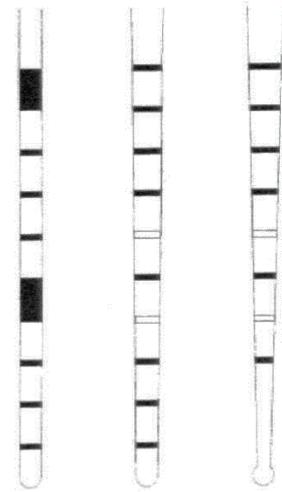
Dans le sens de la longueur, l'embout (ou extrémité ou partie graduée ou partie travaillante) est généralement droit mais il existe des sondes à l'extrémité courbée pour l'exploration des furcations. En coupe transversale, l'extrémité de la sonde est généralement ronde mais elle peut être plate ou rectangulaire.

La partie graduée peut avoir un profil droit ou fuselé et être de différentes longueurs. Une sonde ayant une partie travaillante aux bords parallèles nous donne des mesures légèrement plus élevées et plus reproductibles qu'une sonde conique (97).

La pointe peut être plate, arrondie ou de forme sphérique et de différents diamètres. Une forme sphérique génère moins de résistances durant le sondage et cela résulte en des mesures plus profondes comparées aux formes cylindriques ou coniques. Cette différence est probablement due à une diminution des forces latérales et de l'adhérence s'exerçant contre la sonde et empêchant la progression dans le sulcus ou la poche (98).

La forme sphérique rend la détection du tartre sous-gingival et l'appréciation de la rugosité de la surface radiculaire plus aisée (42).

Figure 25. A gauche, un embout aux parois droites. Au milieu, un embout fuselé. A droite, un embout à l'extrémité sphérique. Les graduations sont aussi différents entre les embouts (98).



b. Graduations

Les graduations sont visibles au niveau des délimitations formées par des **sillons gravés, des bandes gravées, des bandes mordancées à l'acide et/ou des bandes peintes** (souvent en noir) (99). La plus grande valeur mesurable varie selon la sonde. Selon les graduations, **une partie ou l'ensemble des millimètres seront lisibles**.

Certaines graduations peuvent être absentes afin d'améliorer la lisibilité et éviter les confusions dans la lecture des marquages comme sur la sonde Williams où le 4 et le 6 mm sont absents (100). Cependant, cela peut être associé avec une erreur de préférence de chiffre. Sur la sonde Williams, si la mesure tombe entre 3 et 7, l'opérateur aura tendance à choisir la valeur 5 (101). La présence de graduations tous les millimètres comme sur la sonde UNC-15 est préférable pour le bilan parodontal, tandis que les sondes aux graduations espacées peuvent être utilisées pour le dépistage (102).

En outre, des sondes peuvent avoir des variations de calibrage par le fabricant dépassant 0,5 mm même en provenant du même lot (99).

c. Angle

Les différents types de sondes parodontales peuvent présenter un angle variable entre la partie graduée et le manche. Selon cet angle, l'accessibilité et la facilité d'insertion dans le sulcus ou la poche varie en fonction du site sondé.

d. Manche

Les sondes parodontales peuvent avoir un manche plus ou moins large. Un manche plus large augmente légèrement la force transmise par l'opérateur. Toutefois, cela reste négligeable compte tenu de la différence moyenne de force entre deux opérateurs (103).

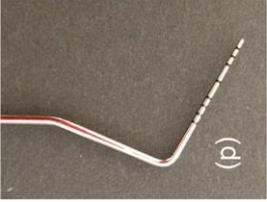
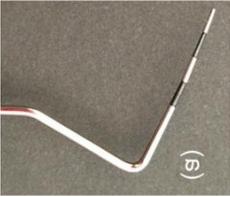
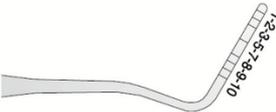
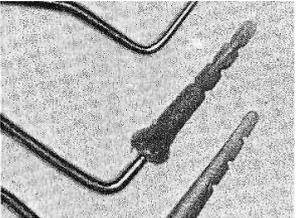
Type de sonde	 Williams (d)	 Marquis (s)	 WHO probe (CPITN-E et CPITN-C)	 Michigan « O » Probe 3-6-8 mm	 University of North Carolina 15 (UNC- 15)	 Goldman-Fox 1-2-3-4-8-9-10	 Plast-O-Probe
Diamètre et forme de l'extrémité	Arrondie De 0,4 à 1 mm	Arrondie 0,4 mm	Forme sphérique 0,5 mm	Arrondie De 0,28 à 0,40 mm	Arrondie, De 0,4 à 0,6 mm	Arrondie et aplatie	Aplatie 0,2 mm sur 1,5 mm
Graduations (en mm)	1-2-3--5-7-8-9-10	2 bandes noires entre 3 et 6 mm et 9 et 12 mm	Bande de 3,5 à 5,5 mm (+ bande de 8,5 à 11,5 pour la CPITN-C)	3-6-8 ou 1-2-3--5--7-8-9-10	Tous les mm jusqu'à 15 Bandes noires entre 4 et 5, 9 et 10,	1-2-3--5--7-8-9-10	3-6-9
Commentaire	Créée en 1936, la sonde Williams a longtemps été la sonde parodontale de référence.	Créée en 1965	Créée en 1978 et utilisée pour le CPITN. La sonde CPITN-E est destinée aux études épidémiologiques tandis que la CPITN-C est à usage clinique.	Dérive de la sonde de Williams en plus fin	Sonde de référence en recherche clinique lorsqu'une sonde calibrée est nécessaire	Dérive de la sonde Williams avec une partie graduée plate	Embouts en plastique flexibles en forme de lame montés sur manche

Tableau 10. Différents modèles de sondes parodontales selon (34, 42, 45, 101). Images tirées de (104–107).

2. Deuxième génération : les sondes à pression constante

La force exercée par l'opérateur sur l'instrument manuel n'étant pas contrôlable et reproductible de manière précise, des sondes possédant un **indicateur de pression** ont été développées à partir des années 1970 afin **d'harmoniser les résultats de profondeur de sondage et de saignement**.

Plusieurs sondes de deuxième génération ont été mises au point afin de standardiser la force exercée par l'opérateur autour **de 0,20 à 0,25 N** généralement (soit environ 20 à 25 grammes-force). En général, les embouts avec l'extrémité servant à sonder sont changeables et de diamètres variables.

La force est contrôlée par des capteurs piézoélectriques, des ressorts, des pistons ou des forces magnétiques et l'opérateur est averti quand la force souhaitée est atteinte par une indication visuelle ou sonore (42). Les sondes à pression constantes peuvent réduire les erreurs dues aux différences de forces transmises à chaque sondage chez un même opérateur ou entre plusieurs opérateurs (44,104). L'opérateur perd cependant en sensibilité tactile subgingivale vis-à-vis d'une sonde manuelle (96).

a. La sonde True Pressure Sensitive (TPS Probe)

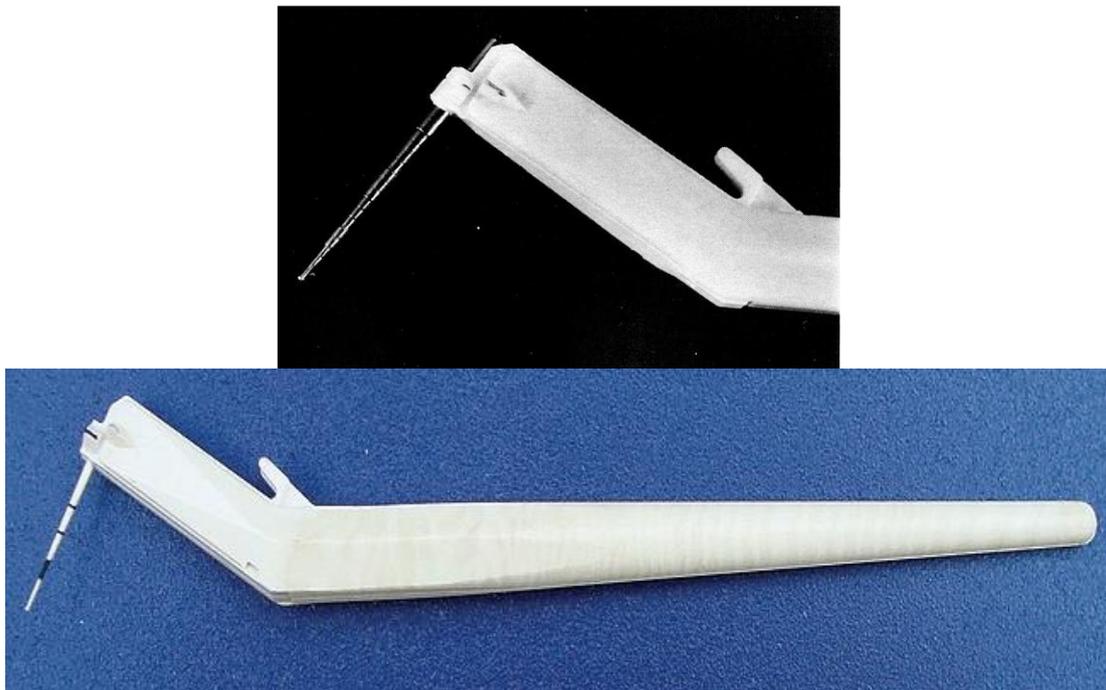


Figure 26. La True Pressure Sensitive Probe de Vivacare © (100,105).

Introduite par Hunter en 1990, la sonde TPS a une tête à usage unique avec trois extrémités différentes disponibles. Une “force approximative de **20 g**” est généralement appliquée via un **système de ressort** au niveau de la connexion entre le manche et la pointe (106). Une échelle coulissante permet l'alignement de deux repères visuels quand la force demandée est appliquée (101).

b. La sonde Yeaple

Elle est formée d'une sonde reliée à une base ayant un système électronique contrôlant la pression et émettant un signal audio quand la pression désirée, **paramétrable de 5 à 100 g** est atteinte (101). Elle est désormais utilisée dans des études sur l'hypersensibilité dentaire (107).

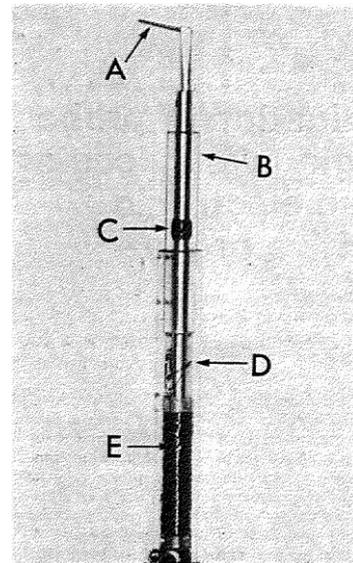


Figure 27. La sonde à pression constante Yeaple (108,109).

c. La sonde Brodonic

Créée en 1981 par Borsboom, elle est formée d'un manche pourvu d'un **système à ressort** exerçant une force constante de **0,13N** via une charnière entre le manche et la pointe. La force peut être paramétrée à **0,26N** et **0,57 N** en changeant le ressort (110).

Différents types de pointes peuvent être montés dessus. Ce système est utilisable facilement en pratique quotidienne ou dans des études (36).

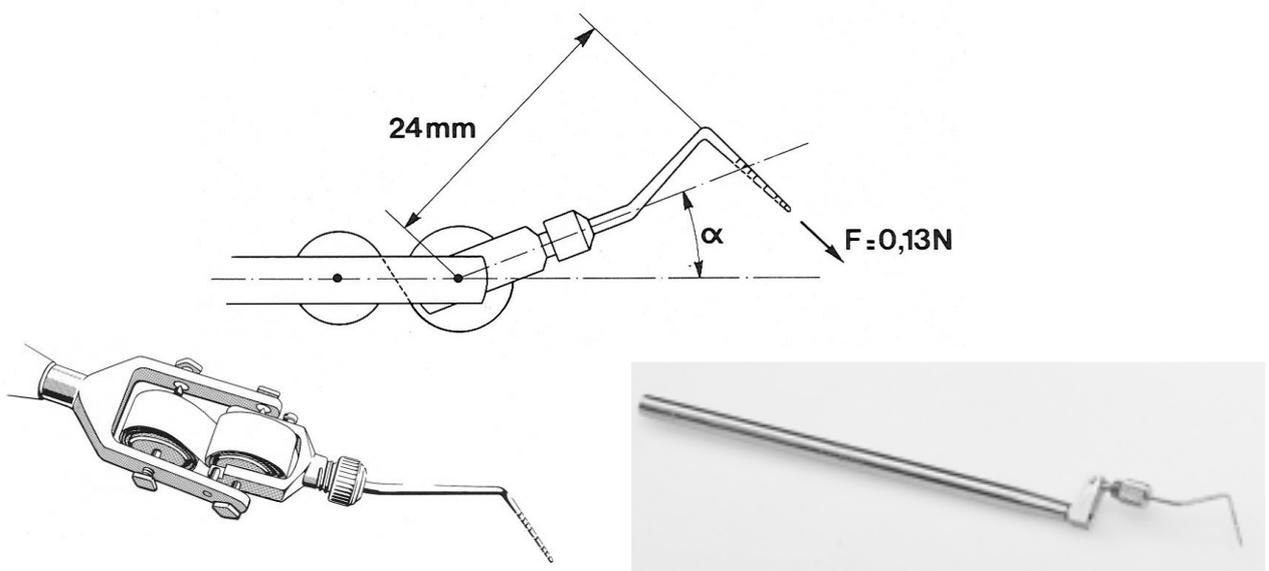


Figure 28. Le fonctionnement de la sonde Brodonic (36,110).

d. La Pro-DenRx© Sensor Probe



Figure 29. La Pro-DenRx© Sensor Probe avec des graduations à 2-3-4-5-7-9 mm en action au niveau du site mésio-vestibulaire d'une 16 (111,112).

La jonction entre le manche et la pointe de cette sonde se plie afin d'appliquer une force constante de 15g. Quand l'opérateur atteint ce palier, la pointe entre en contact avec la butée. Différentes graduations sont disponibles (96,111).

3. Troisième génération : les sondes à pression constante automatisées ou sondes électroniques

Afin de réduire les erreurs liées à la lecture des mesures au niveau des graduations et afin d'accélérer la saisie des données sur le charting, des sondes ayant un **système de lecture automatisé** de la mesure et de **saisie assistée par ordinateur** ont été développées. Ces systèmes ne nécessitent donc **pas d'assistance** afin de saisir informatiquement les valeurs. Ce sont les sondes à pression constante automatisées ou sondes électroniques (45).

Certains auteurs leur rapportent des difficultés à sonder les poches profondes (105,113).

En dépit d'importantes recherches sur le développement de sondes automatisées, le **coût élevé** de ces dispositifs et la perte de sensibilité tactile font qu'actuellement, ils sont majoritairement utilisés pour la recherche clinique et épidémiologique plutôt que pour le soin clinique. La sonde conventionnelle manuelle est toujours l'instrument utilisé majoritairement pour le diagnostic clinique (114).

a. La sonde Foster-Miller

Créée en 1986, cette sonde est capable de mesurer simultanément la **profondeur de sondage** et la **perte d'attache clinique**. L'opérateur place l'extrémité de la sonde au niveau du sillon gingival et déclenche la séquence de sondage via une pédale. En un dixième de seconde, l'extrémité en acier recouvert de téflon de forme sphérique et de 0,5mm de diamètre s'insère dans le sillon gingival puis remonte de manière contrôlée via un **système pneumatique**. La force appliquée est généralement de 35g (178 N/mm²) mais elle est paramétrable **de 10 à 50g**.

Cette sonde est capable d'analyser la vitesse d'insertion, la force exercée et la profondeur de sondage en temps réel. Avec ces éléments, la sonde détecte la discontinuité tactile correspondant à la JAC sous forme de fluctuation dans l'accélération de l'extrémité de la sonde. Une autre fluctuation apparaît lorsque la sonde atteint le fond de la poche. En mesurant la distance entre ces deux fluctuations, la sonde est capable de mesurer et de saisir automatiquement la perte d'attache clinique au niveau du site sondé avec une précision de 0,1 mm (20,42,115).

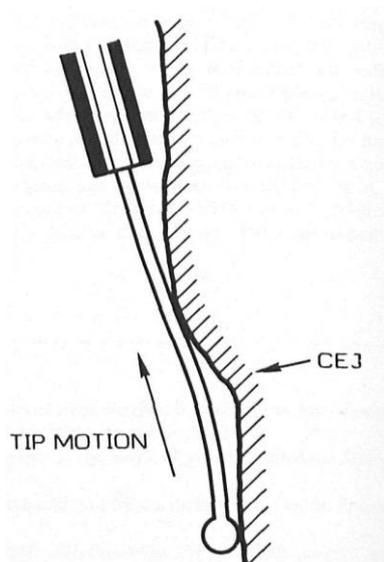


Figure 30. Schéma de la pointe de la sonde Foster-Miller remontant le long de la dent (20).

b. La sonde Toronto

Birek et McCulloch ont développé la sonde parodontale automatisée Toronto (*Toronto Automated Periodontal Probe* ou TAPP) en 1987 (116,117). Cette sonde est formée d'un fil en Nickel-Titane de 0,5 mm de diamètre entouré d'un stent en polyéthylène. A l'activation des pédales, une jauge digitale mesure la longueur du stent engagée dans le sillon gingival à une force constante paramétrable **de 0,1 N à 0,9 N** (51 à 458 N/cm²) produite par de **l'air comprimé**. Les données mesurées sont transmises automatiquement sur le logiciel informatique.

La sonde Toronto utilise la surface occlusale ou le bord libre comme point de référence. On ne mesure pas ici la perte d'attache clinique, c'est-à-dire le niveau entre la JAC et le fond de la poche, mais bien le **niveau d'attache relatif** (*Relative Attachment Level* ou RAL) à ce point de référence. Cependant, ce point de référence peut évoluer avec le temps en cas de restauration ou d'usure de la partie occlusale.

La reproductibilité de l'angulation de la sonde est assurée par l'incorporation d'un **niveau au mercure** qui autorise la saisie des mesures uniquement quand l'instrument est tenu en position verticale à plus ou moins 10° (42).

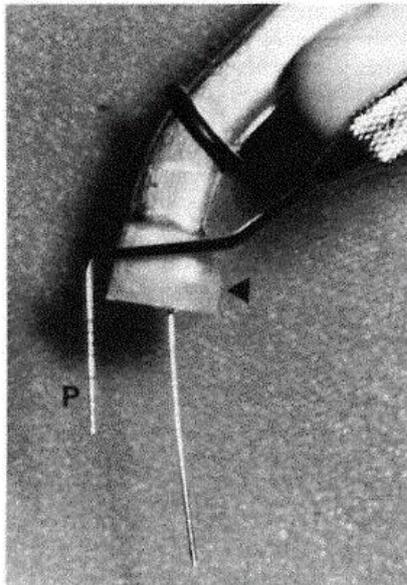


Figure 34. La sonde Toronto (flèche noire) comparée à une sonde Michigan-O-probe (P) (116).

La sonde Toronto a été modifiée afin de mesurer la vitesse de pénétration de la sonde dans les sillons et poches (distance parcourue par la pointe de la sonde/unité de temps) aussi appelée vélocité de sondage. Les augmentations de vélocité sont corrélées avec une augmentation de l'inflammation (118,119).

c. La sonde Accutek et la sonde Interprobe

La **sonde Accutek** créée par Goodson et Kondon en 1988 possède un système utilisant une **fibre optique** afin de mesurer les mouvements de la pointe se rétractant dans son tube lorsqu'elle est insérée dans un sillon gingival ou une poche (120).

La pointe à usage unique de diamètre 0,35 mm et de 12mm de long est en plastique flexible et calibrée pour être insérée à une force de **0,4 N** soit 416 N/cm². La précision de la mesure est de 0,5mm (42).

La **sonde Interprobe** utilise une technologie similaire à la sonde Accutek avec une force de **0,3 N** contrôlée grâce à la friction à l'intérieur de l'élément encodeur. La pointe flexible mesure 0,55 mm de diamètre, ce qui nous donne une pression de 126 N/cm² (42).

Un charting complet est possible en **30 min** (121). Les données sont enregistrées sur une carte mémoire ou directement transmises dans le logiciel compatible (120).

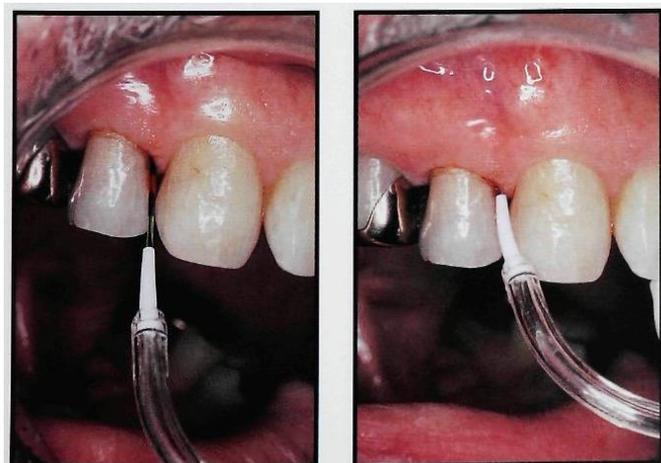


Figure 31. A gauche, la pointe de la sonde Interprobe est insérée en site mésio-vestibulaire de 14 (122). A droite, le stent est placé au niveau de la gencive marginale ; la pointe rentre dans le stent.

d. La sonde Florida

La sonde Florida (ou *Florida Pocket Probe*, ou *Florida Stent Probe*) a été introduite par Gibbs et al en 1988 (123). Elle est composée d'une sonde entourée d'un stent, d'un capteur de mouvement, d'une pédale et d'un logiciel sur ordinateur permettant la saisie automatisée des profondeurs de sondage et d'autres indices (atteintes de furcations, mobilités, indice de plaque, etc...) sur le charting (111). Toutes les parties en bouche ou s'en approchant sont stérilisables (42). Une nouvelle version à usage unique de la pièce à main, la Dolphin Probe, est aussi disponible.

La pointe de la sonde, parfois graduée, est en alliage de titane flexible afin d'épouser au mieux la forme de la dent et a une extrémité plate de 0,45mm de diamètre afin de passer dans le stent de 0,97mm de large. Un ressort fournit une force constante réglable et généralement utilisée autour de **0,15 N** (94 N/cm²) ou **0,25 N** (157 N/cm²) (42). Récemment, un design de pointe alternatif avec une extrémité de forme sphérique de 0,6 mm de diamètre a été commercialisé (124).

Figure 32. A gauche, la pointe graduée avec une extrémité plate de diamètre 0,45mm. A droite, la pointe graduée de diamètre 0,45 mm avec une extrémité sphérique de 0,6 mm de diamètre (124).



Les valeurs de profondeur de sondage sont mesurées électroniquement entre l'extrémité de la sonde et le bord du stent placé au niveau de la gencive marginale avec **une précision de 0,2 mm** et transférées sur le charting à chaque activation de la pédale ou du logiciel de saisie vocale (45). La pédale permet aussi d'indiquer la présence de saignement ou de suppuration sur le charting. Un **retour sonore** énonçant la valeur mesurée ou les signes supplémentaires indiqués permet de suivre la saisie dans le logiciel. La comparaison avec les données des précédents chartings se fait facilement par la présence de flèches noires pour les variations de 1 à 2mm et rouges pour les variations de plus de 2mm (125).

Un charting complet nécessite une **vingtaine de minutes** d'après Goodson et al. (121).

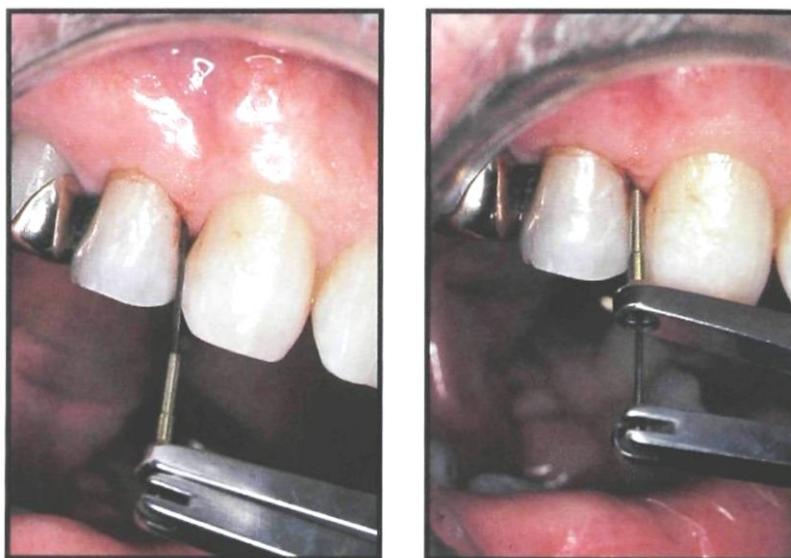


Figure 33. A gauche, la pointe de la sonde est insérée au niveau du site mésio-vestibulaire de 14. A droite, le stent est placé au niveau de la gencive marginale. L'opérateur déclenche alors la mesure avec la pédale (122).

Une version de la sonde Florida permettant de mesurer la perte d'attache, et non plus la profondeur de poche, a vu le jour, la *Florida Disk Probe*. Un disque métallique de 11mm de diamètre à placer au niveau du bord libre ou de la surface occlusale remplace le stent. On ne mesure pas ici la CAL bien le **niveau d'attache relatif** (*Relative Attachment Level* ou RAL) au point de référence occlusal comme pour la sonde Toronto. Ce repère peut évoluer dans le temps en cas de restauration ou d'usure de la partie occlusale (42,126).

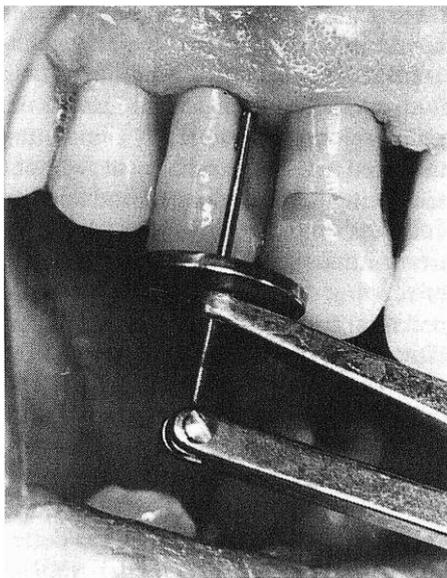


Figure 34. La Florida Disk Probe mesurant le niveau d'attache relatif à la surface occlusale (127).

Une dernière version de la sonde Florida a été proposée pour pallier ce problème, la sonde PASHA pour *Pressure-controlled, Automated, Standardised Handpiece* (Pièce à main à pression contrôlée, automatisée et standardisée) ou *CEJ Probe*. Le stent d'un diamètre de 1mm est ici modifié par un rebord de 0,125mm sur toute la périphérie. Cette convexité est suffisamment importante pour permettre de **repérer la discontinuité formée par la JAC** en supra ou en sous-gingival et s'en servir comme repère fiable dans le temps. La mesure de la sonde est donc prise entre la JAC et le fond de la poche, ce qui correspond à la perte d'attache clinique (126,128).

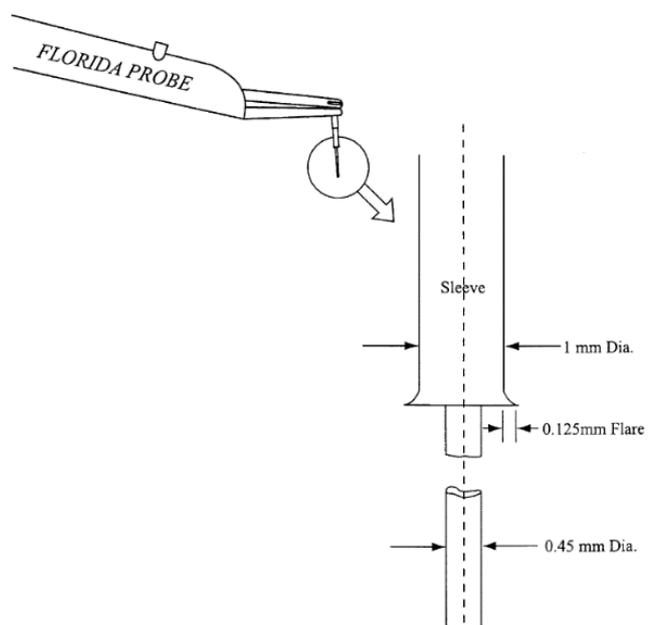


Figure 35. Dessin de la CEJ probe et du rebord de stent à placer au niveau de la JAC (129).



Figure 36. Mesure de la perte d'attache clinique avec la CEJ Probe (126).
Le rebord du stent est placé au niveau de la JAC de la 31.

La sonde Florida a pour inconvénients de parfois sous-estimer les valeurs de sondage profondes et de réduire la sensibilité tactile de l'opérateur par rapport à une sonde manuelle. Son utilisation nécessite un apprentissage et de l'entraînement (125).

La sonde Florida et ses versions alternatives sont devenues des standards dans les études cliniques nécessitant une haute reproductibilité des résultats.

e. La Peri-Probe

Le système Peri-Probe est constitué d'une sonde à pression constante et d'un micro-ordinateur équipé d'une imprimante. La force de sondage de **0,21 à 0,46 N** est générée par un **ressort**. La pointe flexible de forme sphérique et de **diamètre 0,5mm** applique alors une pression de 107 N/cm² à 234 N/cm² sur les tissus gingivaux. Une pression sur le bouton situé sur le manche permet d'enclencher la mesure de profondeur de sondage au **dixième de millimètre près** entre le stent placé au niveau de la gencive marginale et l'extrémité de la sonde (42,130).

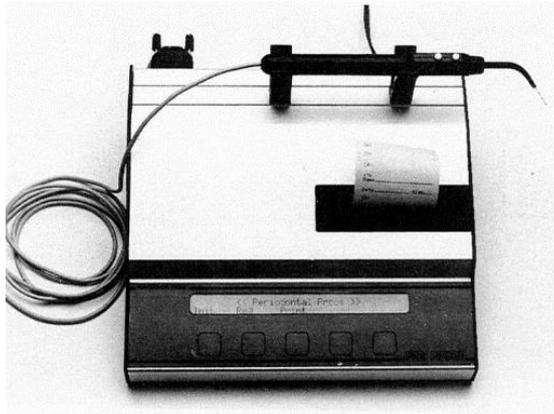
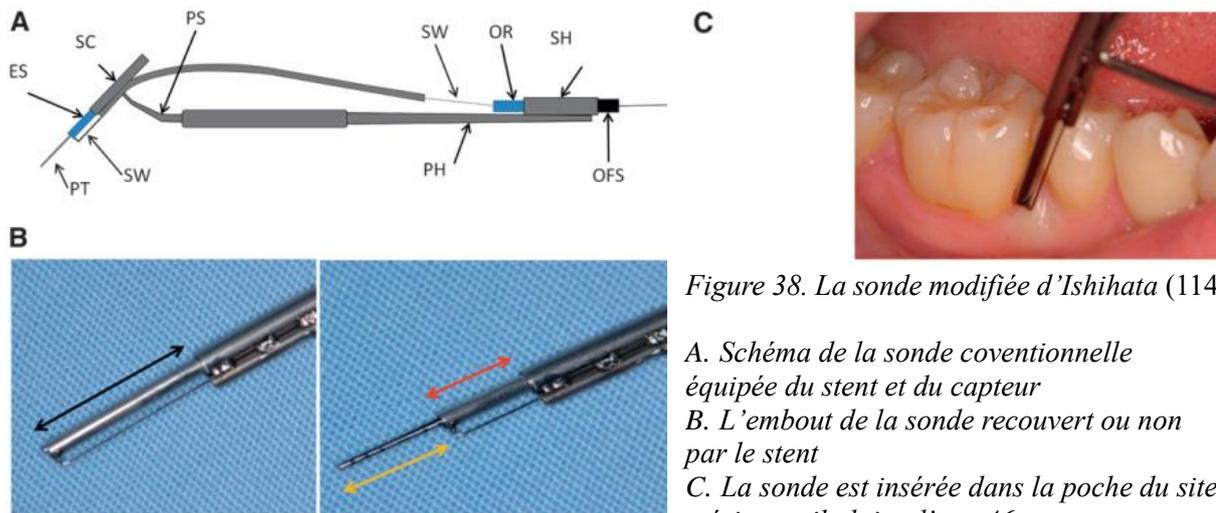


Figure 37. La sonde Peri-Probe formée d'une pièce à main reliée à une unité informatique/imprimante (130).

f. La sonde d'Ishihata

En 2012, Ishihata et al. ont **modifié une sonde parodontale conventionnelle** de 0,5mm de diamètre en lui ajoutant un stent monté sur ressort se rétractant lors de l'insertion dans le sillon gingival. Un capteur enregistre le mouvement du stent via une **fibre optique** afin de saisir les données de profondeur de sondage automatiquement sur le logiciel adapté.

L'étude indique une bonne reproductibilité des résultats entre une sonde conventionnelle et cette sonde modifiée sur des profondeurs de sondage de moins de 7mm. La **force exercée n'est pas constante** mais la fonction de **saisie automatisée** peut être utile dans le diagnostic de maladies parodontales (114).



g. La sonde PA-ON

Plus récemment, la société allemande Orange Dental a commercialisé le PA-ON Parometer ou **sonde PA-ON**. Cet instrument sans fil possède un **affichage graphique** directement sur la pièce à main, un retour sonore et une fonction de saisie automatique sur un charting dédié. L'embout flexible à usage unique de 11mm de long et à l'extrémité sphérique de **0,5mm de diamètre** est inséré à une force contrôlée de **0,20 N** (soit 102 N/cm²) afin de mesurer la profondeur de poches. Les signes supplémentaires comme le saignement peuvent être renseignés à l'aide des boutons situés à côté de l'écran.

Certains auteurs ont rapporté des difficultés à insérer l'embout dans les poches distales à cause la taille de l'instrument (113,131).



B. LES SONDES DE FURCATION

Le sondage des furcations est le geste diagnostique de référence des atteintes de furcation bien que sa mesure puisse être difficile (63). L'instrument de choix pour la mesure des atteintes de furcation est une sonde de furcation comme la **sonde de Nabers** (132).

Cette sonde courbée et généralement graduée par bandes tous les 3 mm afin de correspondre à la classification de Hamp ou tous les deux millimètres pour correspondre à l'index de Ramfjord (133). Cette sonde est préférable aux sondes droites rigides ou souples, à pression constante ou non (134,135).

L'opérateur doit considérer les dimensions étroites de l'entrée de la furcation pour le choix de la sonde à utiliser. Une pointe de diamètre réduit est nécessaire pour détecter des atteintes de furcation précoces (11).

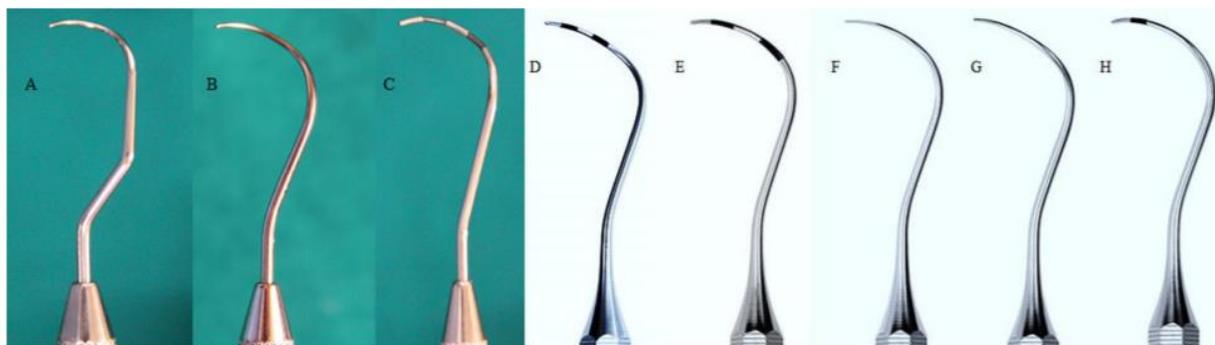


Figure 40. Les types de sondes de furcation (136).

- A) Sonde de Nabers 1N : non graduée, angles marqués pour mesurer les furcations mésiales et distales des molaires maxillaires
- B) Sonde de Nabers 2N : non graduée, courbe moins marquée pour accéder à toutes les furcations vestibulaires et linguales
- C) Sonde de Nabers Q2N : similaire à la 2N avec un code couleur à 3, 6, 9 et 12 mm
- D) Sonde ZA2 : diamètre de 0,5 mm et graduations à 2, 4, 6 et 8 mm
- E) Sonde ZA3 : diamètre de 0,5 mm et graduations à 3, 6, 9 et 12 mm
- F) Sonde HO2 : diamètre de 0,4 mm et non graduée
- G) Sonde NS2 : diamètre de 0,5 mm et non graduée
- H) Sonde NP2C : diamètre de 0,5 mm et graduations à 3 et 5 mm

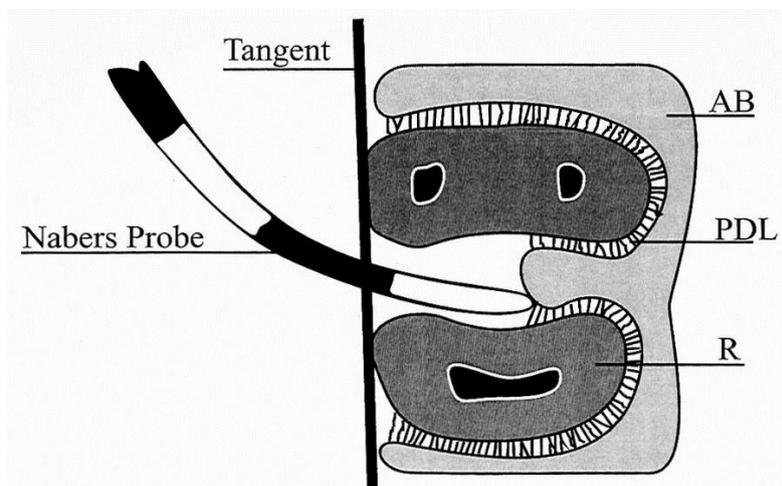


Figure 41. Dessin de l'insertion d'une sonde de Nabers en coupe transversale (137).

La mesure se fait à partir d'une tangente imaginaire au niveau de racines. (R : racines, PDL : ligament alvéolo-dentaire, AB : os alvéolaire)

L'identification de la cannelure indiquant le début de la furcation contribue à la précision de la mesure. Si cette concavité est en position sous-gingivale, l'opérateur ne peut compter que sur sa sensation tactile (138).

Eickholz et al. considèrent les furcations disto-linguales des molaires maxillaires comme les plus difficiles à sonder et les moins reproductibles (139).

La forme de la sonde est plus importante pour le diagnostic de furcation que la pression utilisée (137). La **sous-estimation des atteintes de furcation** est beaucoup plus commune que la surestimation (63).

C. LA FIABILITE ET LA REPRODUCTIBILITE DU SONDAGE

1. Généralités

La **résolution** est la plus petite variation de mesure détectable par un instrument. Concernant la profondeur de sondage, cette grandeur est comprise entre 3 mm pour une sonde manuelle graduée par bandes comme la sonde Marquis (cf. Tableau 10) à 0,1 mm pour la plupart des sondes électroniques (67).

L'**exactitude** (ou validité ou fiabilité) évalue à quel point la mesure d'un instrument s'approche de la valeur réelle de la variable mesurée. C'est-à-dire quand la valeur de profondeur de sondage s'approche de la valeur de profondeur de poche biologique. L'histologie est la technique gold-standard afin d'obtenir la profondeur de poche biologique et la perte d'attache d'un site mais cette technique étant par définition destructrice et invasive, on utilise le sondage parodontal comme estimation (67).

La **reproductibilité** (ou précision) représente la capacité d'un instrument à obtenir une mesure identique quand le test est répété. Elle peut être évaluée quand un même opérateur examine les mêmes patients deux fois ou plus (reproductibilité **intra-examineur**) ou quand différents opérateurs examinent les mêmes patients (reproductibilité **inter-examineurs**). La reproductibilité peut être évaluée entre deux mesures de profondeur de sondage quand on présume qu'aucune d'entre elles n'est exacte histologiquement parlant. Cela arrive souvent dans des études de calibration quand deux opérateurs ou plus font des mesures sans que l'on connaisse la profondeur de poche biologique réelle (42,67).

2. Les sources d'erreur

L'erreur de mesure est la différence entre la valeur mesurée au sondage et la valeur de profondeur de poche biologique (42). C'est la somme de :

- L'**erreur systématique** : la composante de l'erreur de mesure qui, quand on répète la mesure, demeure constante ou varie de façon prévisible.
- L'**erreur aléatoire** : la composante de l'erreur de mesure qui, quand on répète la mesure, varie de façon imprévisible.

L'objectif du sondage parodontal étant d'avoir une estimation de la profondeur de poche biologique, il faut essayer de contrôler les sources d'erreurs et de standardiser la manière de prendre des mesures afin d'obtenir des résultats comparables entre eux. On essaie de standardiser toutes les variables afin que seule la profondeur de poche biologique ait un effet sur la profondeur de sondage.

Lors de chaque mesure et pour chaque opérateur différent, les valeurs de profondeurs de sondage mesurées sont dépendantes (42,101) :

- **Du patient** : en fonction de la profondeur de poche biologique, de l'inflammation, de la présence de tartre au niveau du site sondé
- **De l'instrument utilisé** : en fonction du diamètre de la pointe, du design de la pointe, de la calibration par le fabricant, de la résolution
- **De l'opérateur** : en fonction de la force exercée, de l'axe d'insertion, de la lecture de la mesure

Les variables dépendantes du patient (inflammation, tartre) sont sources d'erreurs systématiques (cf. partie II.A.5.); l'inflammation va augmenter la valeur de toutes les mesures tandis que le tartre peut bloquer la sonde et diminuer la valeur. Ces variables ne sont pas contrôlables à l'exception de l'effet du détartrage effectué avant le sondage afin de réduire l'inflammation et la présence de tartre. Les mesures dans des sulcus peu profonds (< 3 mm) sont significativement plus reproductibles que les mesures dans les poches (> 3 mm) (140). Cela peut être dû au fait que la sonde se bloque parfois dans le mur gingival des poches profondes (39). Le fait qu'une poche saigne est aussi associée à un sondage moins reproductible (141).

Les variables propres à la sonde (diamètre, résolution des graduations de l'instrument, design, cf. partie III.A.1) sont aussi sources d'erreurs systématiques mais contrôlables dans le sens où le ou les opérateurs peuvent choisir un instrument adapté et standardisé et le conserver pour chaque mesure. Des erreurs de calibration de sondes dues au fabricant ou à l'usure sont possibles, c'est pourquoi il est important de vérifier préalablement la standardisation des sondes utilisées (99,142).

Une norme internationale de l'Organisation Internationale de Normalisation (**ISO 21672**) pour définir des critères standards concernant les sondes parodontales a vu le jour en 2012. Elle établit une liste de caractéristiques que les fabricants peuvent respecter afin de standardiser leurs sondes ou non (90) :

- Diamètre de la pointe 0,5 mm
- Section de structure cylindrique
- Contrôle de pression constante de 0,25 N
- Échelle de 15 mm avec des graduations ou des bandes millimétrées
- Une conicité de 1,75°

Les variables propres à l'opérateur pendant le sondage (lecture, force, axe) sont sources d'erreurs aléatoires que l'on peut réduire en partie via la standardisation et la calibration des opérateurs.

La **force** transmise avec une **sonde manuelle** est variable selon l'opérateur et souvent supérieure à 0,25 N (50). Pour calibrer la force de sondage, le clinicien peut insérer la sonde au niveau de son ongle, un blanchiment de l'ongle indique une force autour de 25g (143). Les praticiens expérimentés ont tendance à sonder avec plus de force les sites les moins profonds et à sonder avec moins de force les sites les plus profonds afin de ménager ces sites souvent plus sensibles pour le patient (42).

Les **sondes électroniques** à pression constante donnent, comme pour les sondes manuelles, des mesures reproductibles avec moins de 1mm d'erreur (101,144). Le principal avantage des sondes à pression constante étant d'augmenter la reproductibilité inter-opérateurs (101,125).

Cependant, le fait que la reproductibilité intra-examineur n'augmente pas drastiquement indique que d'autres sources d'erreurs que la force sont impliquées (36,94,145,146).

On remarque des reproductibilités intra et inter-examineurs plus importantes au niveau des sites antérieurs que l'on peut expliquer par un meilleur **accès visuel** et un positionnement de la sonde plus simple ou par une force appliquée inconsciemment plus importante sur les sites postérieurs (50,104,147).

La **position de travail** influence directement la profondeur de poche, surtout quand l'opérateur n'utilise pas une sonde ayant un angle important entre le manche et la partie graduée (104).

Les mesures de profondeurs de sondage ne semblent pas dépendre de la préférence manuelle de l'opérateur. Ainsi, dans les études cliniques, les différences de valeurs entre les côtés droits et gauches ne dépendent pas de si l'examineur est droitier ou gaucher (148).

Au niveau des sites proximaux, la sonde peut être insérée de deux manières différentes : parallèlement au grand axe de la dent le plus proche possible du point de contact ou avec la sonde inclinée de manière avoir la pointe la plus proche possible du milieu du site proximal, c'est-à-dire sous le point de contact. Entre ces deux méthodes, on rapporte une augmentation de 1mm de la profondeur de sondage pour la technique avec la sonde inclinée pour des poches de 4 à 8 mm (149). Sur des études de petite ampleur, il est possible de réaliser des gouttières ayant des rainures servant de guides permettant de s'assurer de la reproductibilité de **l'axe d'insertion**. Cela augmente les reproductibilités inter et intra-opérateurs (101).



Figure 42. Une angulation pas assez importante (en haut) ou trop importante (en bas) de l'axe d'insertion de la sonde par rapport à la surface de la dent peut mener à des mesures de profondeur de sondage erronées. La sonde doit être parallèle à la surface de la dent (au milieu) (95).

La **variation de la position de la sonde horizontalement** le long du site à cause de l'angle ou de la position de la sonde est une importante source d'erreur de sondage, même quand une gouttière est utilisée (150).

La reproductibilité intra-opérateur est évidemment meilleure que la reproductibilité inter-opérateurs car un même opérateur a tendance à avoir une force et des positions constantes (130,151).

La valeur de la **perte d'attache clinique** repose sur deux mesures distinctes : la profondeur de sondage et la distance entre le rebord de gencive marginale et la jonction amélo-cémentaire. Ces deux mesures sont sujettes à des erreurs et l'erreur de mesure de la CAL est la somme de ces erreurs. Ainsi, une mesure manuelle de la CAL est généralement égale ou supérieure à une mesure de profondeur de sondage seule (42).

3. La duplication des mesures

Afin de réduire l'erreur aléatoire lors du sondage, un opérateur peut **mesurer plusieurs fois** la profondeur de sondage sur chaque site. Cependant, cela prend du temps pour l'opérateur et est souvent désagréable pour le patient. La duplication des mesures est une procédure courante en recherche clinique mais elle reste rare en parodontie clinique.

Quand des sondages dupliqués sont réalisés, la seconde mesure est généralement plus haute que la première à cause de la résistance amoindrie des tissus. Il a été suggéré que deux sondages successifs soient espacés de 10 minutes et que le patient utilise un bain de bouche entre les deux afin de réduire cet effet (42).

La répétition de mesures évite les valeurs aberrantes en prenant la moyenne de plusieurs valeurs mesurées. Après les deux premières mesures, les algorithmes Option-3 et Option-4 sont des solutions élaborées pour déterminer le besoin d'une ou deux mesures supplémentaires afin d'obtenir une mesure plus fiable en fonction de la différence entre les deux mesures initiales (152,153).

4. L'enseignement du sondage, la standardisation et la calibration

Le sondage par plusieurs opérateurs aboutit à des mesures différentes à cause d'erreurs systématiques (e.g. un opérateur appuie plus fort que l'autre, ou avec un angle d'insertion différent) ou à cause de différences aléatoires. On peut les réduire en standardisant les pratiques et en calibrant les opérateurs.

La **standardisation** consiste en un enseignement de règles de sondage communes à tous les opérateurs concernant la technique, l'alignement, les sites de mesure et les approximations quand la gencive marginale tombe entre deux graduations. Ceci, afin d'obtenir des valeurs proches d'une valeur cible, la profondeur biologique, et similaires entre chaque opérateur (44,101).

La **calibration** est un entraînement mis en place après la standardisation et destiné à augmenter la reproductibilité de chaque opérateur sur ses mesures grâce à un retour d'information (*feedback*) sur ses inconstances (44,101). La calibration et l'entraînement de l'opérateur, plus que son expérience, sont fondamentaux pour la reproductibilité (104).

L'enseignement initial du sondage, la standardisation et la calibration des opérateurs peut se faire grâce à différentes **méthodes théoriques et pratiques** :

- Des enseignements théoriques en classe (154),
- Des enseignements théoriques sur ordinateur (154,155),
- Des vidéos à visée pédagogique (156),
- De l'entraînement sur des modèles conçus spécialement pour le sondage (157,158),
- De l'entraînement sur des dispositifs de réalité augmentée avec retour haptique (159),
- De l'entraînement sur des patients (160).

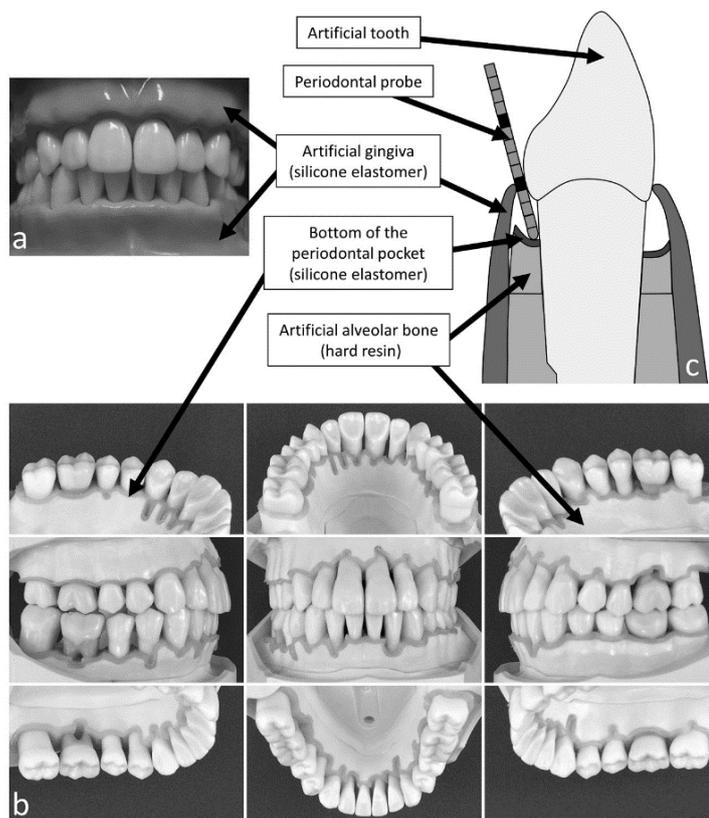


Figure 43. Exemple de modèle utilisé pour l'enseignement et la calibration du sondage (158).

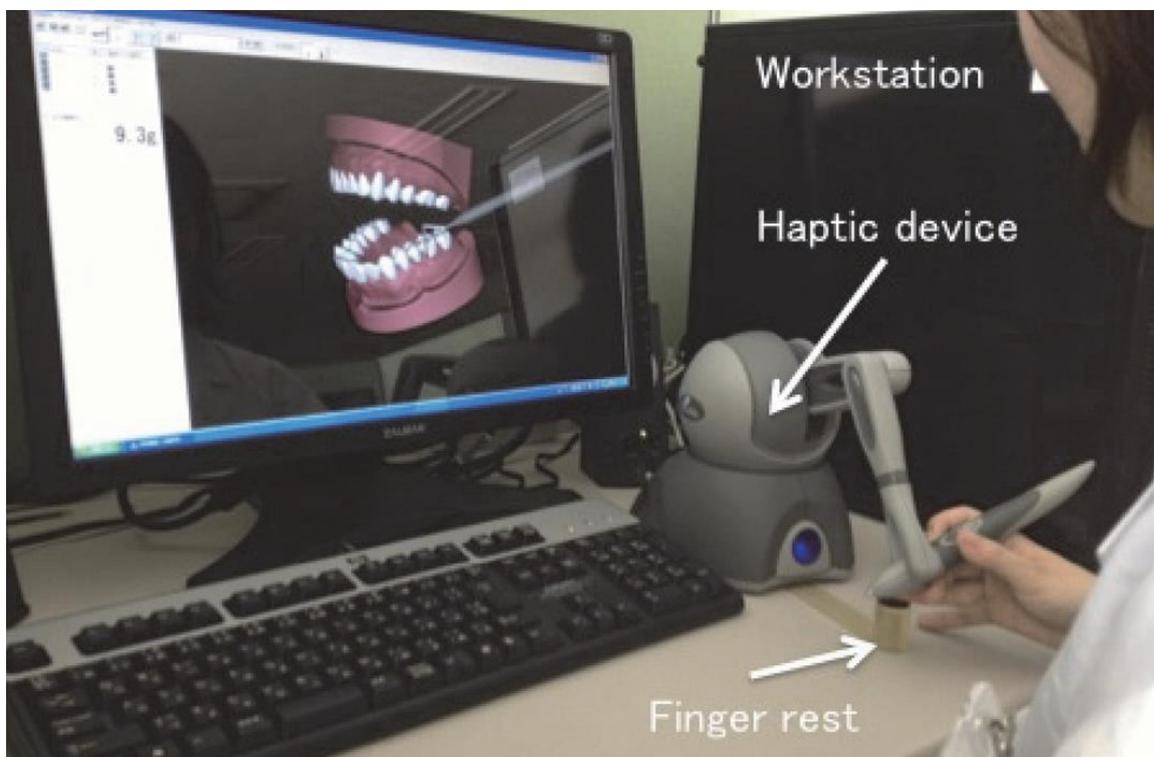


Figure 44. Photographie d'un dispositif utilisant une pièce à main avec retour haptique et une modélisation de l'action de la sonde au niveau du sillon gingivodentaire afin d'enseigner le sondage parodontal (159). (Workstation : ordinateur, haptic device : dispositif avec retour haptique, finger rest : point d'appui pour le doigt)

D. LA SAISIE VOCALE DU CHARTING PARODONTAL

La **reconnaissance automatique de la parole** est une fonction informatique qui permet d'analyser la voix humaine captée via un microphone pour la transcrire sous la forme d'un texte exploitable par un ordinateur. Elle a des usages divers dans de nombreuses disciplines médicales (161).

Dès 1990, Feldman et Stevens ont mené une étude pilote sur la faisabilité d'un tel dispositif pour saisir les données de l'examen clinique des dents absentes, cariées et des restaurées. La saisie vocale était alors près de 40% plus long qu'un examen classique mais ne nécessitait pas d'assistance (162).

En parodontie, la reconnaissance de la parole représente une **méthode alternative à l'assistant humain** afin de saisir les données du bilan parodontal sur le charting (67). Cela a pour avantage de permettre au dentiste d'interagir directement avec l'interface informatique sans utiliser ses mains et de ne nécessiter qu'une seule personne pour remplir un charting ce qui optimise l'efficacité du cabinet dentaire (163).

Différents logiciels permettent l'enregistrement automatisé de ces données et leur utilisation à des fins médicales. Ces programmes peuvent être des services en ligne, des logiciels dentaires spécialisés ou des extensions pour logiciels dentaires existants. La partie reconnaissance de la parole est la plupart du temps gérée par un service tiers assuré par une société spécialisée comme Microsoft, Nuance ou Google (163).

Un **micro-casque** remplace le clavier et la souris pour naviguer dans l'interface et relever les mesures. La plupart des logiciels de saisie vocale nécessitent l'utilisation d'un **langage formel**, c'est-à-dire d'un langage utilisant un vocabulaire limité et précis afin de formuler des commandes compréhensibles par l'ordinateur en opposition avec le langage naturel utilisé au quotidien. L'utilisation de ce type de logiciel demande un apprentissage des commandes et de l'ordre dans lequel elles doivent être énoncées (163).

Par exemple, sur la suite PerioSystem©, pour renseigner la profondeur de poche, il est nécessaire de :

- localiser la dent sur la charte vestibulaire ou linguale en disant « Dent + numéro (ou suivante ou précédente) »
- puis d'énoncer le signe clinique à saisir en disant « profondeur »
- enfin, de dicter les valeurs selon l'ordre du charting, par exemple « 2, 1, 5 »

La profondeur de sondage, les récessions, le saignement au sondage, la suppuration, les lésions carieuses, les atteintes de furcation, les hyperplasies gingivales, la présence de plaque dentaire, les mobilités et les anomalies muco-gingivales peuvent être renseignés au niveau de chaque site.

Il existe sur le marché un grand nombre de microphones de haute qualité ayant une fonction de réduction du bruit parasite afin de transmettre un signal plus clair (163). Les erreurs de reconnaissance et donc de saisie sont généralement rapidement détectées par l'opérateur grâce à un **retour sonore** de la commande saisie dans le casque et corrigées aussitôt (163).

Il n'existe que peu de logiciels dentaires de saisie vocale en français. On peut citer PerioSystem© d'une part et VoiceWorks©, d'autre part, commercialisé par Florida Probe© et qui peut s'utiliser en complément de la sonde Florida.



Figure 45. Capture d'écran d'une vidéo montrant l'utilisation du système VoiceWorks© lors du charting parodontal à l'aide d'une sonde conventionnelle (164).

E. LA SAISIE DES DONNEES PARODONTALES A L'AIDE DE CLAVIERS OU PEDALES SPECIFIQUES

Afin de permettre à l'opérateur de se passer d'assistant pour la saisie du charting, des dispositifs de saisie simplifiés ont été mis au point.

Le **GoProbe**© est un petit clavier sans fil développé par Florida Probe© permettant de saisir les données du charting sur un logiciel dédié compatible avec la plupart des suites dentaires disponibles aux Etats-Unis. Il peut s'utiliser avec n'importe quelle sonde manuelle et peut être recouvert par un plastique à usage unique afin d'éviter les risques de contamination croisée.

Les valeurs de profondeur de sondage, de saignement au sondage et de suppuration sont saisies d'une simple pression sur la touche correspondante et d'autres signes peuvent être indiqués en naviguant sur l'interface.

Il peut se fixer sur l'avant-bras du praticien ou être donné au patient durant le sondage afin qu'il saisisse lui-même les données. La saisie du charting par le patient lui-même renforce son implication et peut améliorer sa motivation et son adhésion au plan de traitement. Un retour sonore permet de contrôler la validité des mesures saisies (165).



Figure 46. Le clavier sans fil GoProbe (165).

Le **Dental R.A.T.©** (pour *Remote Access Terminal*) est une pédale servant de souris sans fil conçue spécialement pour la saisie du charting parodontal. Ce dispositif a pour avantage de réduire le risque de contamination croisée car le praticien peut saisir les données directement sans utiliser ses mains.

Il est composé d'un joystick en haut pour déplacer le curseur de la souris, de boutons numérotés de 1 à 4 pouvant aussi saisir les valeurs de 5 à 8 lors d'une pression plus longue. Le bouton en bas sert de clic gauche tandis que le bouton 4/8 sert aussi de clic droit. Les saignements et suppurations au sondage et peuvent être saisis via le clic gauche en laissant le curseur sur la case correspondante sur l'interface informatique.

Le logiciel répète les valeurs mesurées afin que l'opérateur puisse contrôler la bonne saisie des valeurs et que le patient prenne conscience des zones les plus atteintes.

Les valeurs peuvent être saisies sur le charting du logiciel dédié mais le Dental R.A.T. peut aussi servir à naviguer dans d'autres programmes comme le logiciel dentaire principal ou le logiciel de radiographie (166).



Figure 47. La pédale Dental R.A.T. (166).

F. LA CONTAMINATION BACTERIENNE INTER-SITES ET LA BACTERIEMIE DUES AU SONDAGE

Le sondage parodontal joue supposément un rôle dans la **contamination bactérienne entre les sites** (167). Ainsi lors d'un examen parodontal de routine, quand une sonde est insérée au niveau d'un site avec une grande proportion de pathogènes parodontaux, les bactéries peuvent s'attacher à la surface de la sonde parodontale et être transportées vers d'autres sites, sains ou non, de la même manière que *Streptococcus mutans* peut se transmettre avec une sonde classique d'un côté à l'autre de la bouche (168,169). Les indentations sur la sonde retiennent plus de plaque dentaire et pourraient avoir un effet sur la quantité de pathogènes transportés (170). Holt et al. ont déterminé qu'un plus grand nombre de bactéries était transporté lors du sondage des poches profondes, peu importe le design et le matériau de la sonde (171).

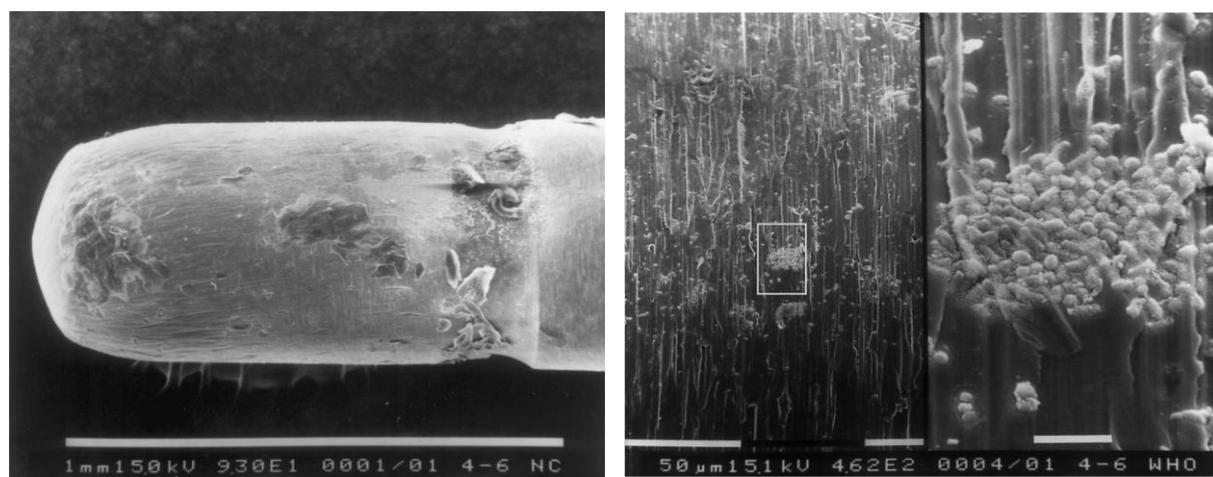


Figure 48. Microscopie électronique à balayage de dépôts cellulaires et bactériens après l'insertion d'une sonde dans une poche de 4 à 6 mm (171).

- A gauche, couches de cellules épithéliales adhérentes à la surface et dans l'indentation d'une sonde (grossissement x93).

- A droite, vue de la surface d'une sonde insérée dans une poche de 4 à 6 mm présentant des bactéries isolées et un agrégat de bactéries (rectangle central) (grossissement x462 puis x2860)

Cependant, l'inoculation au niveau d'un site d'une bactérie pathogène ne signifie pas que le site va être colonisé de manière pérenne par cette nouvelle souche. Ainsi, Christersson et al. ont transporté avec succès des bactéries parodontopathogènes *Actinobacillus actinomycetemcomitans* d'un site atteint vers un site sain à l'aide de sondes parodontales mais l'action antagoniste des bactéries déjà présentes et la réponse immunitaire ont éliminé ces micro-organismes en deux à trois semaines (172).

Ainsi, la **contamination** par un parodontopathogène d'un site sain via une sonde passée dans un site plus atteint paraît **possible mais non systématique**. Afin de réduire cette potentialité, il a été proposé de sonder en premier les sites les moins infectés ou de d'alterner entre deux sonde à chaque dent afin d'en désinfecter une pendant que l'autre est utilisée à l'aide d'une compresse trempée dans une solution d'alcool à 70° ou de digluconate de chlorhexidine (171,173).

En outre, les bactéries délogées du biofilm par la pointe de la sonde ont des risques de se retrouver dans les vaisseaux du tissu conjonctif et d'être ainsi disséminées dans le système circulatoire entier, peu importe que le site saigne au sondage ou pas (174). Le sondage parodontal est un **acte bucco-dentaire invasif** et à ce titre « susceptible d'induire une infection locale, à distance ou générale » (175).

Ainsi, un sondage complet des six sites par dent entraîne une **bactériémie** chez 16 à 43% des patients souffrant de gingivite ou de parodontite (174,176,177). Ces chiffres sont comparables à ceux rapportés pour le détartrage, le débridement ultrasonique, l'irrigation sous-gingivale, les traitements endodontiques et les extractions (176). Par rapport aux patients atteintes de gingivite, les patients ayant une parodontite non traitée ont un risque accru de bactériémie due au sondage car la proportion de saignement au sondage et la profondeur de poche moyenne par dent sont associées significativement à une bactériémie plus élevée (174).

Les études sur les animaux ont montré que le **pic de bactériémie arrivait dans la minute** suivant l'introduction dans le sang. Cette bactériémie diminuait en quelques minutes sous l'effet des défenses immunitaires (174).

Les bactéries aérobies Gram +, et plus particulièrement les streptocoques, représentent la majorité des souches bactériennes retrouvées dans le sang. Cela est d'autant plus important que les streptocoques causent la majorité des cas d'endocardite infectieuse d'origine extrahospitalière. Les bactéries anaérobies sont moins souvent retrouvées et ne sont détectées que chez les patients atteints de parodontite, là où la présence de poches profondes leur est favorable. Les bactéries anaérobies sont une cause moins répandue mais néanmoins importante d'endocardite infectieuse (174,176).

Pour réduire le risque infectieux, il est ainsi recommandé de mettre en place une **antibiothérapie prophylactique** par amoxicilline ou clindamycine dans l'heure qui précède le sondage parodontal chez les **patients immunodéprimés ou à haut risque d'endocardite infectieuse** (175).

G. INCONFORT ET LA DOULEUR RESSENTIE LORS DU SONDAGE

La **douleur** est un des signes cardinaux de l'inflammation. La gingivite et la parodontite sont généralement non douloureuses. Cependant, le sondage du parodonte peut provoquer des douleurs qui suggèrent que la gencive est enflammée (178). Le niveau de douleur est généralement **corrélé à la sévérité de l'inflammation gingivale** et, à moins que l'inflammation gingivale ne soit généralisée et sévère, un patient ne sentira pas le même degré de douleur à chaque site. Un site sain ne sera généralement pas sensible tandis qu'un site enflammé le sera (11). Ainsi, la douleur au sondage est augmentée au niveau des sites profonds ($\geq 4\text{mm}$) et des sites saignant au sondage (178,179). Cependant, les sites sans saignements ou autres signes clairs d'inflammation peuvent aussi être sensibles au sondage (11).

L'incidence de douleurs modérées à sévères lors d'un sondage manuel complet est de 30% chez les patients atteints de parodontite (180) mais on remarque une **grande variabilité entre les patients** concernant la tolérance à la douleur (124,180,181). La douleur au sondage varie selon l'âge du patient, selon des facteurs cliniques et selon la localisation du site sondé (179,181) :

- Le degré de douleur décroît en général avec l'âge (179),
- Les sites linguaux sont en moyenne moins douloureux que les sites vestibulaires (181),
- les sites incisifs sont en moyenne plus douloureux que les sites molaires (181),
- Les patients éprouvant de l'anxiété durant les soins dentaires ont des scores de douleur plus élevés (182).

Les sondes manuelles comme électroniques peuvent provoquer des douleurs lors du sondage mais les sondes manuelles sont généralement sources de douleurs plus importantes (125). La sonde Florida provoque de faibles niveaux de douleur (médiane de 14/100 sur l'Echelle Visuelle Analogique) et la PA-ON engendre moins de douleur comparé à une sonde manuelle (113,124).

Le sondage ne paraît pas aussi inconfortable que l'instrumentation sous gingivale (180), ni aussi stressant que les extractions dentaires (183). Cependant, le sondage étant un acte assez fréquent, l'impact sur le patient peut être significatif. La fréquence optimale à laquelle un dépistage par sondage de l'intégralité du parodonte doit être renouvelé chez un patient n'est pas encore déterminée mais il n'est probablement pas nécessaire d'en réaliser un à moins de 12 mois d'intervalle à cause de l'inconfort provoqué chez le patient (184).

De plus, comme le sondage parodontal est un des premiers gestes effectués par le dentiste chez un nouveau patient, l'inconfort créé peut avoir un effet notable sur la relation patient/dentiste et donc sur l'acceptation de la suite du traitement parodontal par le patient (180,185). Il est aussi important que le patient prête attention aux zones douloureuses indiquant des sites enflammés afin d'être conscient des régions les plus enflammées de son parodonte (11).

L'expérience de la douleur pendant des soins dentaires est une préoccupation chez un grand nombre de patients. Le chirurgien-dentiste doit ainsi tenter de minimiser le degré d'inconfort durant le traitement. Cette aptitude fait partie des compétences essentielles du chirurgien-dentiste. Afin d'y parvenir, il doit déjà s'assurer de sa capacité à estimer la douleur ressentie par le patient. Pour cela, il est suggéré d'évaluer régulièrement l'intensité de la douleur perçue par le patient à l'aide de différentes procédures comme l'usage de l'échelle visuelle analogique afin d'obtenir un retour sur son expérience (186,187).

En présence d'une inflammation gingivale sévère, des mesures de profondeur de sondage précises sont parfois difficiles à obtenir sans anesthésie à cause de l'inconfort et la douleur provoqués chez le patient. En cas de parodontite évidente cliniquement et radiographiquement, un sondage complet et plus précis des poches parodontales pourra être réalisé juste après l'anesthésie lors de la séance de surfaçage/débridement radiculaire. De plus, dans les cas sévères, la profondeur de sondage peut varier grandement après l'apprentissage du contrôle de plaque et la thérapeutique non chirurgicale. Il est ainsi plus important d'obtenir des mesures de profondeur de sondage précises lors de la réévaluation plutôt que lors de l'examen initial (11).

L'utilisation d'une anesthésie locale par injection afin de réduire la douleur est elle-même cause d'inconfort et de douleur (180). Ainsi, il semble préférable d'utiliser de **gels anesthésiques topiques** dans les poches parodontales ou sur les tissus gingivaux afin de réduire l'intensité de la douleur durant le sondage (188,189).

Par exemple, le gel Oraqix© s'injecte dans la poche parodontale afin de réduire les douleurs liées au sondage, au détartrage et au surfaçage radiculaire. Il est composé à 5% d'un mélange de lidocaïne et de prilocaïne auxquelles sont ajoutés des agents thermodurcissables augmentant la viscosité lors du passage de la température ambiante à la température corporelle afin que l'anesthésique reste en place dans la poche. Ainsi, le gel Oraqix© produit, après seulement une trentaine de secondes, une anesthésie dont la durée moyenne d'action est de 17 à 20 min (189,190).



Figure 49. Application d'Oraqix® dans une poche parodontale (190).

H. L'USAGE DU SONDAGE PARODONTAL EN PRATIQUE REELLE A TRAVERS LE MONDE

Un certain nombre d'études à travers le monde évaluent les pratiques des chirurgiens-dentistes concernant le diagnostic parodontal au cabinet. La sonde parodontale étant essentielle au dépistage et au diagnostic de maladies parodontales, on y retrouve donc un de nombreuses informations sur l'utilisation des sondes parodontales dans les cabinets dentaires que ce soit lors de dépistage à l'aide des indices issus du CPITN ou du diagnostic clinique en lui-même.

Une étude menée sur 36 chirurgiens-dentistes omnipraticiens dans deux comtés de **Caroline de Nord en 1988** (191) a montré que les profondeurs de sondage n'était retrouvées dans le dossier des patients que dans 6% des cas pour les visites de moins d'un an et dans 14,5% des cas dans les 5 dernières années. Il a été conclu que les **omnipraticiens ne recueillaient pas suffisamment les données parodontales** pour permettre de décrire le statut parodontal ou pour évaluer un changement du parodonte dans le temps.

Une étude de **1989** (184) sur 134 cabinets dentaires **en Floride** a déterminé que chez les nouveaux patients adultes :

- **62% des participants effectuaient un relevé complet des profondeurs de sondage durant la visite initiale ou la première année ;**
- 3% effectuaient le premier relevé complet à partir de la deuxième année ;
- 19% ne collectaient les profondeurs de sondage que de certains sites ;
- 16% ne mesuraient jamais les profondeurs de sondage des nouveaux patients.

Chez les patients venant pour un contrôle :

- 25% des participants effectuaient un relevé complet des profondeurs de sondage à chaque contrôle ;
- 32% des participants effectuaient un relevé complet des profondeurs de sondage mais pas à chaque contrôle ;
- 34% ne collectaient les profondeurs de sondage que de certains sites ;
- 9% n'effectuaient jamais de sondage parodontal lors de contrôles.

Tandis que les atteintes de furcation étaient relevées par 73% des praticiens et le saignement au sondage par 60% des praticiens.

Les **habitudes de sondage étaient variables** et pouvaient donc être classées selon différents schémas :

- Sondage complet à intervalles réguliers
- Sondage complet à intervalles irréguliers
- Sondage des sites identifiés comme « zones préoccupantes » de manière régulière
- Sondage des sites identifiés comme « zones préoccupantes » de manière irrégulière
- Sondage de sites divers à intervalle irréguliers sans schéma prédéfini

Les praticiens de cette étude identifiaient les zones préoccupantes en se basant sur une combinaison variable de signes cliniques en l'absence de charting complet.

La sonde parodontale faisait partie du set d'instruments de routine pour l'examen de nouveaux patients de 84% des chirurgiens-dentistes contre 76% pour les patients en contrôle.

En 1999, Linden et al. (192) ont diffusé un questionnaire à des chirurgiens-dentistes omnipraticiens britanniques afin d'évaluer leurs habitudes concernant la parodontie. Les résultats ont montré que dans le cas d'une femme asymptomatique de 40 ans se présentant pour la première fois, les **praticiens du Nord-Ouest de l'Angleterre et d'Irlande du Nord** effectueraient respectivement :

- à 73% et à 67% un examen à l'aide d'une sonde parodontale
- **à 68% et à 47% un relevé du CPITN**
- à 13% et à 15% un relevé des profondeurs de sondage à 4 points par dent
- à 15% et à 12% un relevé des saignements au sondage

En 2004, Tugnait et al. (193) ont rapporté qu'**au Royaume-Uni, 91% des chirurgiens-dentistes omnipraticiens utilisaient le BPE chez de nouveaux patients adultes** contre 84% chez des patients revenant en contrôle mais seulement 56% et 22% la faisaient systématiquement. De plus, les jeunes dentistes utilisaient le BPE plus régulièrement que les plus âgés.

Dans l'Etat de Victoria **en Australie en 2005** (194), 80% des dentistes omnipraticiens rapportaient dépister les maladies parodontales chez tous les nouveaux patients mais **une grande partie des participants ne réalisaient pas systématiquement de CPITN (~58%) ou de relevé complet des profondeurs de sondage (~39%)**.

Au Pays-Bas en 2009 (71), environ **75% des omnipraticiens utilisaient le DPSI** mais seulement 15% l'effectuaient systématiquement lors des contrôles réguliers. La durée moyenne nécessaire à l'évaluation du DPSI était de 3 min (étendue : entre 1 et 15 min). Le DPSI était perçu comme simple et judicieux mais sa contrepartie financière est jugée insuffisante.

D'après Ghiabi et Weerasighe **en 2011 en Nouvelle-Ecosse (Canada)**, **seul 37,8% des dentistes rapportaient pratiquer des sondages complets** et 43,3% ne sondaient que certains sites. 32,5% des dentistes utilisaient le PSR pour dépister les parodontites chez leurs patients (195).

En 2017 dans la métropole de Perth (Australie), le sondage parodontal était le deuxième examen le plus pratiqué (28,1%, derrière les radiographies) chez les patients se présentant sans douleur. Pour les patients douloureux, le sondage était moins pratiqué (seulement 15,5% des cas) (196).

En 2018 en Flandre (Belgique), **64% des dentistes utilisaient le DPSI** pour dépister la parodontite, 28% dépistaient en se basant sur les profondeurs de sondage, 4% utilisaient uniquement les radiographies et 4% n'avaient pas de méthode de dépistage. L'utilisation du DPSI est influencée par l'année du diplôme, ainsi, les dentistes diplômés depuis longtemps utilisent moins cet indice (81).

En 2019, Kraatz et al. (197) ont évalué les pratiques des omnipraticiens **en Tasmanie (Australie)** concernant le diagnostic parodontal. On peut retenir que :

- **80% des dentistes utilisaient le CPITN ou le PSR** mais seulement 21,7% le faisait de manière systématique.
- Environ la moitié des dentistes sondaient systématiquement certains sites pour relever la profondeur de sondage, le saignement et les atteintes de furcation mais seuls 10% d'entre eux effectuaient un sondage complet à chaque visite.
- Plus d'un quart des dentistes ne réalisaient jamais de charting complet.

En 2020, Bandhal (198) a évalué les pratiques en matière de parodontie via un questionnaire à destination des dentistes du comté des **Midlands de l'Ouest (Royaume-Uni)**.

Après un BPE :

- En cas de sextant noté 3 au maximum lors du BPE (poche de 4 à 5 mm), 54% des dentistes effectueraient un charting des sextants notés 3 avant la thérapeutique initiale non chirurgicale et 60% des dentistes relèveraient les saignements au sondage.
- En cas de sextant noté 4, 70% des dentistes effectueraient un charting complet avant la thérapeutique initiale non chirurgicale, 17% se limiteraient aux sextants notés 4 et 13% ne ferait aucun charting. 68% des dentistes relèveraient les saignements au sondage.

Lors du relevé des profondeurs de sondage, **87% des dentistes sondent au niveau de six sites par dent** mais ils sont 41% à ne relever que les sites supérieurs ou égaux à 4 mm. Ils sont 42% à relever les récessions et 29% à calculer les CAL.

Lors de la réévaluation :

- 55% des dentistes contrôlèrent la réponse au traitement avec un charting parodontal des sextants notés 3 ou plus.
- 80% des dentistes ferait un charting complet après la thérapeutique non chirurgicale en cas de sextant noté 4.
- 18% utiliseraient uniquement le BPE alors que cet indice ne procure pas d'informations sur l'évolution du parodonte au niveau de chaque site.

En France en 2020, un questionnaire (199) adressé aux omnipraticiens et ayant récolté 640 réponses nous éclaire sur les habitudes concernant le sondage : 85% des praticiens recherchent systématiquement la présence d'une maladie parodontale chez un nouveau patient et **94% des praticiens ont accès à une sonde parodontale**. Cependant, **seulement 63% des répondants considèrent les profondeurs de sondage comme un critère principal pour diagnostiquer la maladie parodontale** derrière l'aspect gingival, les mobilités dentaires et les examens radiologiques.

Plus récemment encore, Nibali et al. (64) ont fait parvenir un questionnaire à des **dentistes venant d'Europe, d'Australie et de Singapour**. On peut retenir que :

- En cas de score CPITN/BPE de 3 dans un sextant, 41,8% des participants effectuaient un sondage des six sites par dent ;
- En cas de score de 3 dans au moins 2 sextants, 18,5 % des participants effectuaient systématiquement un sondage complet des 6 sites par dents ;
- En cas de score de 4, seuls 17% des participants effectuaient un sondage complet des 6 sites par dent ;
- 17% des participants rapportaient n'effectuer que rarement ou jamais un sondage des 6 sites par dents chez leurs patients.

Concernant la sonde de Nabers, 64,3 % des participants y avaient accès avec de franches **disparités entre les pays** (89% en Italie et 23% au Royaume-Uni). Les jeunes dentistes ont moins accès à la sonde de Nabers (64).

On peut déduire de ces données que **l'utilisation de la sonde parodontale est variable selon les pays et entre les praticiens d'un même pays** ; que ce soit au niveau de la **fréquence du sondage ou du nombre de dents sondées**. Certains praticiens ne sondent jamais le parodonte alors que d'autres sondent systématiquement chaque site à chaque contrôle. Dans les pays où la profession d'hygiéniste dentaire existe, le sondage parodontal est souvent effectué par ces mêmes hygiénistes (200).

Dans le monde, les recommandations quant à la fréquence et la méthode de sondage chez des individus a priori sains sont variables et peu claires quand elles existent. Par exemple, l'ADHA (*American Dental Hygienists' Association*) préconise le sondage parodontal complet dans l'examen clinique mais il ne mentionne pas à quelle fréquence le charting parodontal doit être effectué (201).

Dans les pays où ils sont recommandés, on remarque que les **indices de dépistage sont utilisés par une part importante des dentistes**.

IV. LES TECHNIQUES D'IMAGERIE DU PARODONTE COMME ALTERNATIVE AU SONDAGE

Comme vu précédemment, le **sondage parodontal** est la technique actuelle de référence pour déterminer à la fois la perte d'attache clinique grâce à la **profondeur de poche** et le niveau d'inflammation du parodonte avec le **saignement au sondage**. De plus, le **sondage des furcations** permet d'évaluer la perte osseuse au niveau interradiculaire.

Même si la sonde a beaucoup évolué depuis ses premières descriptions il y a plus d'un siècle, son utilisation reste coûteuse en termes de temps pour le dentiste et d'inconfort pour le patient.

L'**imagerie médicale** a le potentiel pour nous restituer des **images du relief du parodonte et de son état inflammatoire** rapidement tout en restant **non invasive**. La poche parodontale étant une cavité virtuelle de petite taille à la jonction entre des tissus durs et mous, cela représente un challenge pour la recherche en radiologie à l'heure actuelle.

Nous allons étudier les techniques d'imagerie médicales nous donnant des informations sur l'**état inflammatoire du parodonte**, sur la **perte d'attache parodontale** et sur le **niveau d'attache interradiculaire** et pouvant donc potentiellement succéder au sondage dans le diagnostic parodontal.

A. LA CONE BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY

Les techniques de **tomodensitométrie** (*computed tomography* ou CT) mesurent l'**absorption des rayons X** par les tissus puis reconstruisent par traitement informatique, des **images 2D ou 3D des structures anatomiques** et plus particulièrement des tissus durs.

L'utilisation du scanner (*CT-scan*) en dentisterie est limitée pour des questions de coût, d'accès et de dose d'irradiation. L'introduction de l'**imagerie volumétrique par faisceau conique** (*cone beam computed tomography* ou CBCT), principalement dédiée à la région maxillofaciale, a permis un passage de la 2D à la 3D dans l'acquisition et la reconstruction d'images au cabinet dentaire.

Le CBCT effectue une rotation autour de la tête du patient en émettant un faisceau conique ou pyramidal de rayons X d'un côté et en le captant du côté opposé. Durant l'acquisition 150 à 600 projections planaires du champ de vision sont enregistrées afin de reconstruire des coupes 2D de 0,125 à 2 mm d'épaisseur puis une modélisation 3D de la région observée. La possibilité de limiter l'exposition à la seule zone d'intérêt permet de réduire la dose absorbée par le patient. Cette technique d'imagerie a pour avantages d'être rapide, précise ainsi que moins encombrante, moins coûteuse et moins irradiante que le CT-scan. Cependant, la clarté des images est affectée par les artefacts, le bruit et les **contrastes limités des tissus mous** (101).

En parodontologie, le CBCT est principalement utilisé pour **observer la perte osseuse** verticale et horizontale des maxillaires ainsi que les **atteintes de furcation**. Les mesures sur des images issues du CBCT sont pertinentes dans le diagnostic car fiables et comparables aux mesures chirurgicales (202,203). **La JAC est visible** sur les coupes ce qui en fait un repère durable pour évaluer la perte osseuse dans le temps (204). Le CBCT permet, en outre, **d'évaluer l'épaisseur gingivale** malgré la faible opacité des tissus mous (205,206).

Afin de **visualiser la poche parodontale**, il est nécessaire d'avoir recours à **un agent de contraste** injecté dans la poche. En 2014, Weidmann et al. (207) ont montré la faisabilité de cette technique ex vivo à l'aide de composite injecté à la seringue. Afin de pouvoir appliquer ce procédé cliniquement, des agents de contraste biocompatibles à base, entre autres, d'oxyde de zirconium (ZrO_2), de sulfate de baryum ($BaSO_4$) et de tungstate de calcium ($CaWO_4$), ont été développés (208,209).

Hautement biocompatible, le **tungstate de calcium** apparaît comme le meilleur agent de contraste injectable dans la poche à ce jour. Il a montré, in vitro, une radio-opacité supérieure à la dentine et à l'émail, ce qui le rend aisément distinguable. L'adjonction d'un silane d'ammonium quaternaire (K21) aux propriétés antibactériennes permet d'ajouter une action thérapeutique à un examen diagnostique (208).



Figure 50. Application de l'agent de contraste à bas de tungstate de calcium dans les poches approfondies d'une mâchoire de porc (210).

En 2018, Elashiry et al. ont essayé cet agent de contraste sur des mâchoires de porc dont les poches ont été approfondies par des incisions. Cette première étude ex vivo a montré **une haute concordance entre les mesures manuelles de profondeur de sondage et les valeurs de profondeur de poche mesurées informatiquement au CBCT**. De plus, le volume de la poche en entier est mesurable numériquement (210). Il est possible d'utiliser cet agent de contraste chez des patients ayant déjà un examen par CBCT prévu pour d'autres indications cliniques (implantologie, chirurgie parodontal, endodontie...) afin de ne pas augmenter l'exposition aux rayons X (210).

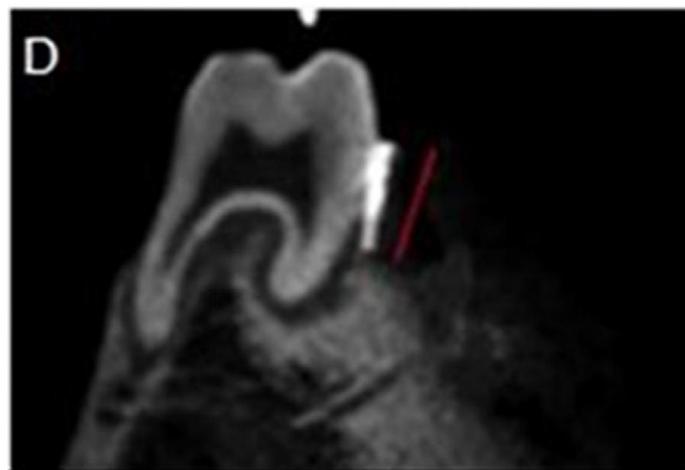


Figure 51. Mesure informatique de la profondeur de poche à l'aide de l'agent de contraste sur une coupe du CBCT (210).

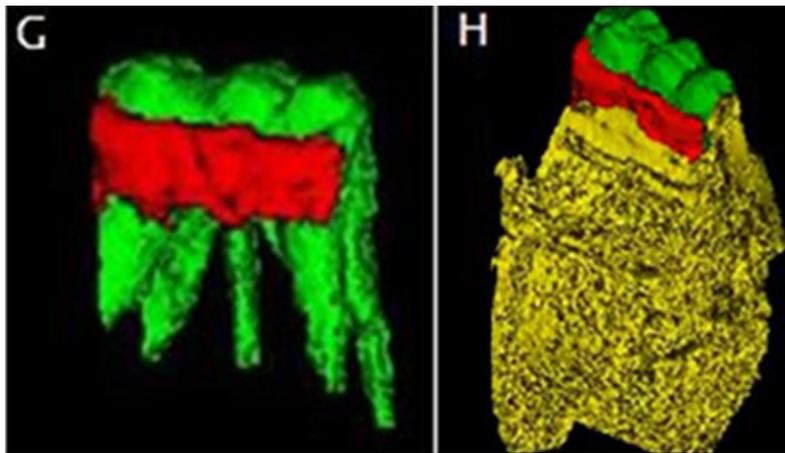


Figure 52. Modèles 3D de la poche (en rouge) autour de la dent (en vert) et de l'os (en rouge) (210).

Des essais précliniques et cliniques supplémentaires sont nécessaires afin de vérifier l'efficacité et la sécurité d'utilisation de cette technique et plus particulièrement l'innocuité de l'agent de contraste, sa profondeur de pénétration dans la poche vis-à-vis du flux de fluide gingival et la précision des mesures (210).

B. L'ECHOGRAPHIE

L'échographie, aussi appelée **ultrasonographie**, est une technique d'imagerie diagnostique **non invasive et non ionisante** utilisant l'écho d'ondes ultrasonores (1 à 40 MHz) afin d'observer les tissus durs et mous. Les hautes fréquences permettent une meilleure résolution mais limitent la profondeur de pénétration. Les ultrasons sont en partie réfléchis à l'interface entre deux milieux aux propriétés acoustiques différentes. Cette caractéristique est ainsi utilisée pour **visualiser les différents tissus sur des coupes en deux dimensions**. Cette technique est largement utilisée en médecine et des applications en parodontologie ont récemment émergé (101,211).

1. La U.S. probe

La **U.S. Probe**® est une sonde parodontale utilisant l'échographie, conçue par Hinders et Companion (212). Cette sonde est l'unique représentante des **sondes de 4^{ème} génération** (voire 5^{ème} selon la classification) capables d'explorer les poches parodontales en trois dimensions de manière non invasive (96,101).

La tête de cette sonde comprend un transducteur émettant un **signal ultrasonore** (10 à 15 MHz) se propageant à travers les tissus. Dans le même temps, un filet d'eau est envoyé afin de permettre la bonne conduction des ultrasons jusqu'aux tissus. La petite taille de la tête de l'instrument permet d'accéder à l'intégralité du pourtour de la dent. La sonde ultrasonore est tenue de la même manière qu'une sonde manuelle, avec la pointe touchant la gencive marginale à l'entrée de la poche, et est déplacée le long du sulcus de chaque dent. Un ordinateur mesure le temps nécessaire aux ultrasons pour effectuer l'aller-retour depuis le transducteur jusqu'à la base de la poche et **détermine ainsi la profondeur de poche** le long de la gencive marginale de chaque arcade. Cette procédure est sans douleur et non invasive et élimine les variations dues à la pression de sondage, au placement, à l'angulation et à la lecture des mesures (101,213,214).

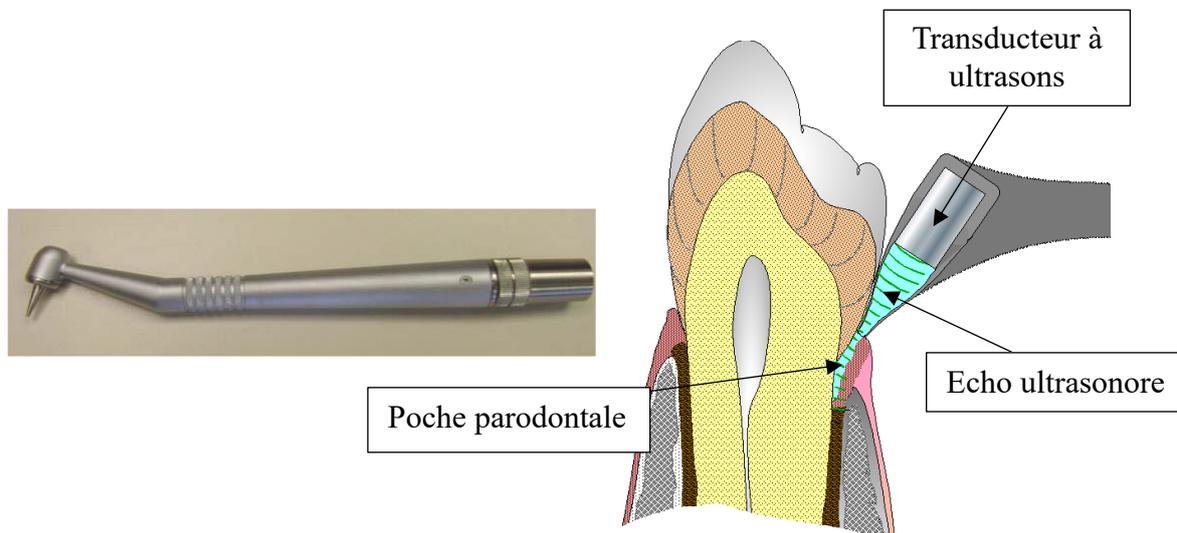


Figure 53. La U.S. Probe© et son fonctionnement (215).

Les résultats des premiers essais cliniques montrent qu'environ **80% des mesures par sondage ultrasonore sont similaires, à 1 mm près, aux mesures manuelles**. Ces valeurs sont proches des résultats des sondes d'autres générations et l'imprécision est sans doute due à la reproductibilité limitée du sondage manuel lui-même (216).

Le sondage ultrasonique a la capacité de détecter des variations anatomiques minimales et donc de permettre un diagnostic précoce de parodontite. Il apparaît ainsi comme une alternative crédible au sondage manuel et électronique. Des recherches plus approfondies sont nécessaires afin de valider ces résultats.

Le coût important du développement et des recherches joue un rôle important dans la production et l'adoption de cette nouvelle technologie (101).

En parallèle, des transducteurs à ultrasons issus du domaine médical et adaptés à l'usage dentaire ont été utilisés afin d'observer le parodonte.

2. L'échographie du parodonte

Des échographes issus du domaine médical ont été essayés sur le parodonte. En utilisant un gel ou un coussin en gel afin de permettre la bonne conduction des ultrasons à travers les tissus depuis le transducteur, il est possible d'obtenir des images du parodonte et des tissus dentaires sur quelques centimètres. Le résultat est **une image en deux dimensions enregistrée en temps réel** dont les contrastes représentent les interfaces entre les différents tissus. Il est possible de faire l'acquisition en intrabuccal ou en transcutané (217).

Figure 54. Acquisition d'échographie dentaire en transcutané (218).



Sur ces images, on peut identifier des tissus mous gingivaux et des tissus durs comme la couronne, la surface radriculaire et l'os cortical. Le tartre est aussi visible ce qui permet d'apprécier sa quantité avant et après traitement et donc la qualité de ce dernier (217).

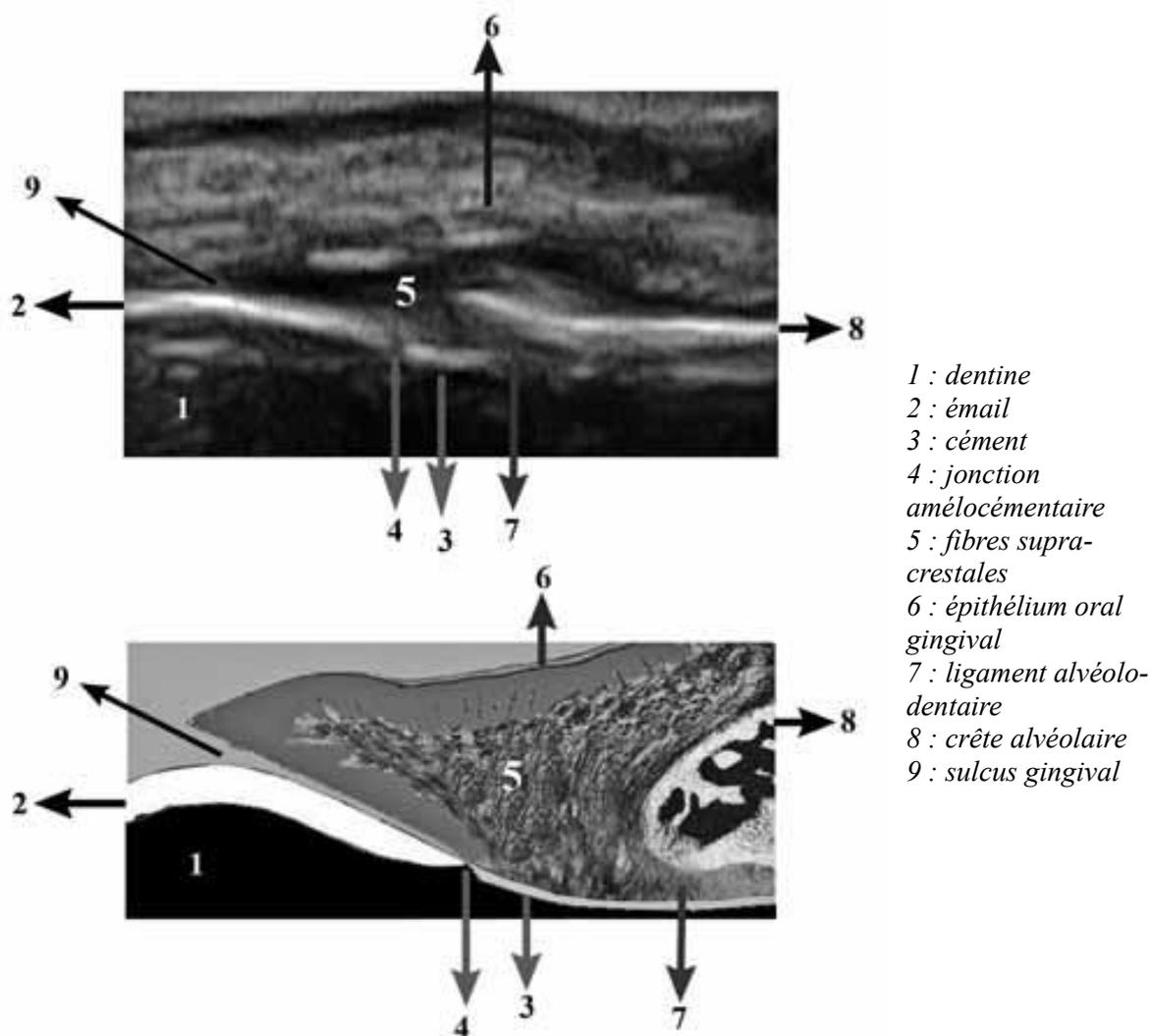


Figure 55. En haut, image issu d'une échographie à 40 MHz d'une dent et de son parodonte d'un sujet sain in vivo. En bas, dessin anatomique de l'image (219).

Ces éléments anatomiques étant visibles de manière précise et reproductible, certaines mesures cliniques nécessaires au diagnostic parodontal sont possibles. Les valeurs de **récession** et d'**épaisseur gingivale** sont aisément mesurables. La **localisation de la JAC** et de la **base de la poche** étant plus difficiles, les mesures de profondeur de poche et de perte d'attache clinique peuvent être améliorées à l'aide d'un algorithme informatique de reconnaissance automatique afin d'obtenir des résultats plus fiables (217,219–221).

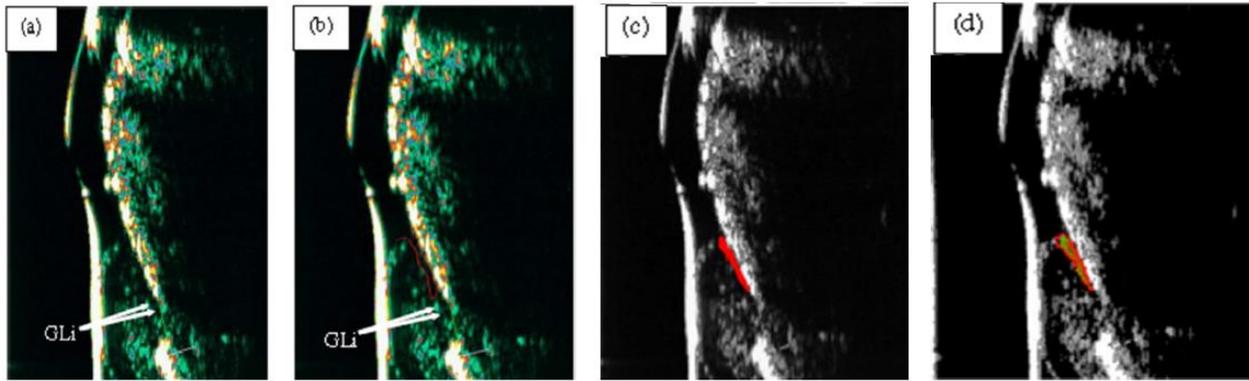


Figure 56. Modélisation du sulcus sur une image d'échographie (217).

- (a) : Image issue d'une échographie à 20 MHz ex vivo. GLi : attache gingivale
 (b) : contours du sulcus tracés par l'opérateur
 (c) : contours du sulcus après passage en niveaux de gris
 (d) : contours du sulcus après application de l'algorithme de traitement

D'après une **étude in vivo** menée par Zimbran et al., en utilisant un transducteur de haute précision (40 MHz), les données de **profondeur de sulcus, d'épaisseur de gencive libre, de distance entre la gencive marginale et la crête alvéolaire, de hauteur de couronne** sont **similaires aux mesures cliniques** (219). L'**observation des furcations** semble aussi possible en utilisant l'échographie (136).

L'échographie comporte ainsi de nombreux avantages : elle est **non invasive, non ionisante, peu onéreuse** en comparaison à d'autres technologies et enregistre **en temps réel** (217). Une **reconstruction tridimensionnelle de l'image est envisageable** afin d'obtenir un rendu plus facilement interprétable par l'opérateur et le patient (217).

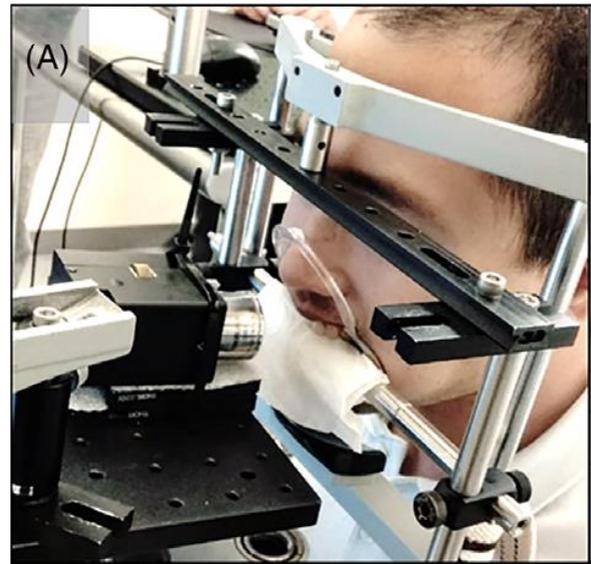
Des études se concentrant sur la capacité, pour l'échographie, de différencier un parodonte sain d'un parodonte atteint sont nécessaires afin de s'assurer que l'échographie puisse être une alternative viable au sondage (222).

C. LA TOMOGRAPHIE EN COHERENCE OPTIQUE (OCT)

La tomographie par cohérence optique (*optical coherence tomography* ou OCT) est une technique d'imagerie **non ionisante**, principalement utilisée en ophtalmologie, basée sur de **l'interférométrie à faible cohérence** à l'aide de **lumière proche de l'infrarouge** (longueur d'onde de 850 à 1310 nm). Un faisceau optique est dirigé sur le tissu et une portion de la lumière réfléchi par chaque couche est collectée. Le reste de la lumière réfléchi est diffusé dans de nombreuses directions et est donc perdue. Les photons parasites provenant d'une zone extérieure à la zone imagée sont ignorés grâce à l'interférométrie qui permet de calculer la distance parcourue depuis leur réflexion. L'OCT permet ainsi de reconstruire **des images 2D et 3D en haute résolution** (1 à 15 μm) sur une **profondeur de 1 à 4 mm** en rejetant la lumière parasite lorsqu'une surface d'intérêt est imagée (96,223).

En parodontologie, la lumière pénètre ainsi sans contact dans les dents, l'os et les tissus mous permettant d'estimer la profondeur de poche, d'identifier la plaque, le tartre ainsi que les tissus dentaires et parodontaux (223).

Figure 57. Acquisition par OCT du parodonte du bloc incisivo-canin maxillaire (224).



L'épaisseur des tissus gingivaux, l'espace biologique et la position de la crête alvéolaire peuvent être mesurés avec une résolution dépassant les méthodes traditionnelles. La jonction émail-dentine et la jonction amélocémentaire dans une moindre mesure, peuvent être visualisées (225).

Les premières études montrent que les valeurs de **profondeur de sulcus** mesurée par OCT sont **inférieures aux mesures in vivo par sondage manuel ou électronique** (0,4 mm et 0.6 mm respectivement) (226) mais aussi aux mesures histologiques (225,227).

Tsai et al. (228) ont créé un dispositif portable permettant l'acquisition aisée d'images OCT des muqueuses orales dans la plupart des zones de la cavité buccale.

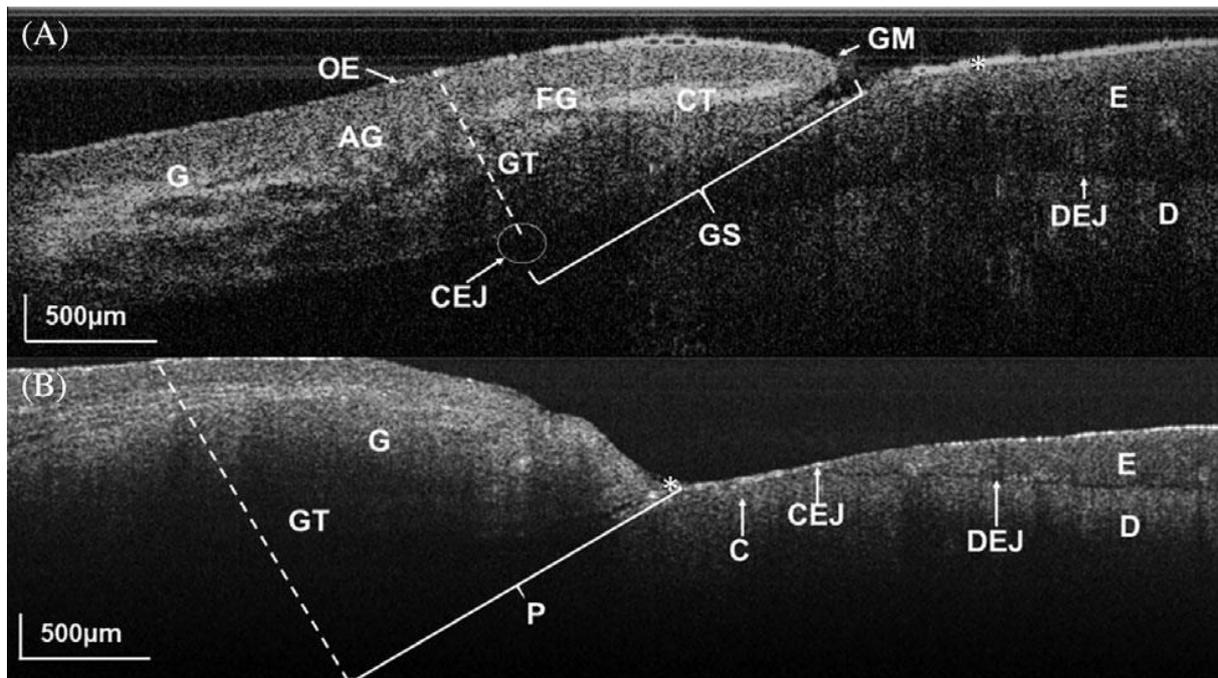


Figure 58. Images de la région parodontale d'incisives mandibulaires chez un patient sain (A) et atteint de parodontite (B) (225):

- (A) : gencive (G), émail (E); dentine (D); épaisseur gingivale (GT); Jonction émail-dentine (DEJ); sulcus gingival (GS), tissu conjonctif (CT); plaque dentaire (*); jonction amélocémentaire (CEJ); gencive marginale (GM); épithélium oral (OE); gencive libre (FG) et attachée (AG).
 (B) : les structures précédentes ainsi que le ciment (C) et une part de la poche (P).

Plus récemment, Le et al., à travers deux études (224,229), ont montré la faisabilité de l'angiographie utilisant l'OCT (OCT-A). Cette technique permet de visualiser la microstructure gingivale et la vascularisation en deux et trois dimensions *in vivo*. Les sites enflammés semblent présenter une densité importante de petits capillaires conjonctifs superficiels par rapport aux sites sains. La reproductibilité et la fiabilité de cette technique reste cependant à explorer.

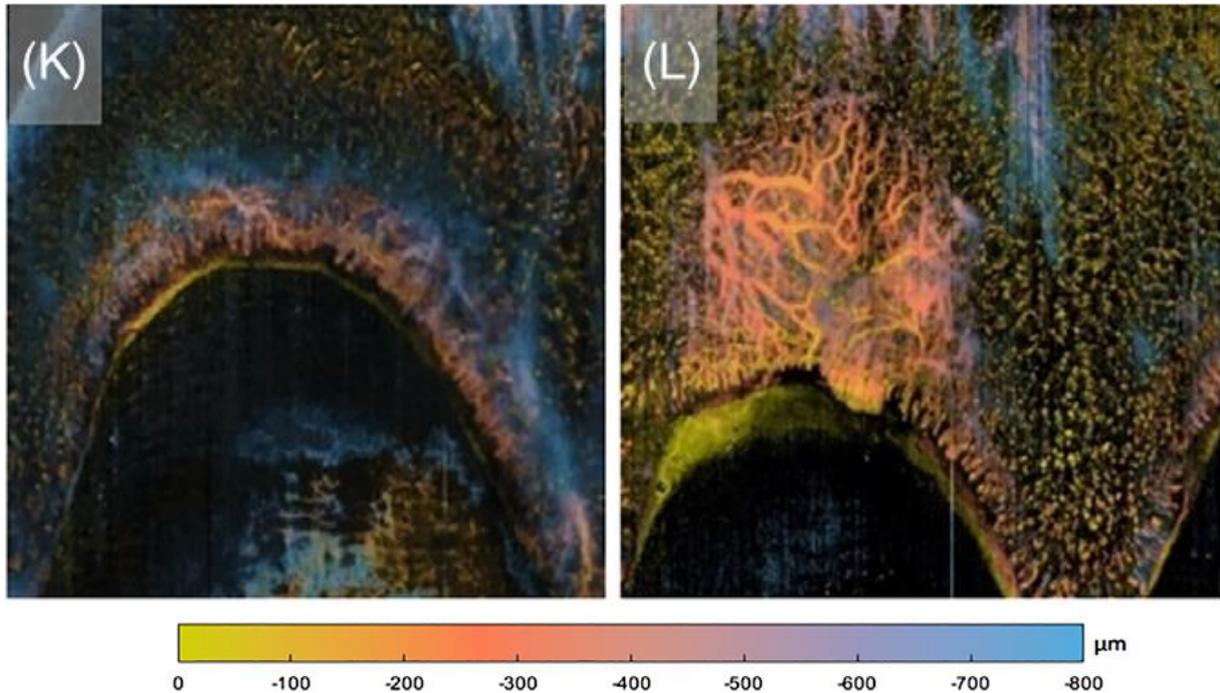


Figure 59. Angiogramme par OCT (OCT-A) colorisé en fonction de la profondeur des tissus gingivaux vestibulaires de 21 (K) et 22 (L) (224).

On note la densité de petits vaisseaux conjonctifs superficiels au niveau de 22 par rapport à 21. Le site de 22 présente cliniquement de l'inflammation par rapport à 21.

Bien que l'OCT présente certaines limites comme la faible profondeur de pénétration de la lumière et la fenêtre d'acquisition plus petite que la taille des poches parodontales, cette technique récente présente des avantages certains étant **non invasive, sans contact et non ionisante**. Des améliorations et une démocratisation de ce système pourraient permettre d'améliorer grandement le diagnostic parodontal.

D. LA CAPILLAROSCOPIE ENDOSCOPIQUE

La capillaroscopie endoscopique est une technique d'imagerie utilisant une **fibre optique** équipée d'une lentille de moins de 1mm de diamètre insérée dans le sulcus ou la poche afin de **visualiser la microvascularisation du mur gingival**. Une **lumière verte** de longueur d'onde 520 nm, absorbée par le sang, illumine la gencive. On obtient donc des **vidéos où les capillaires apparaissent noirs sur fond vert** (230,231).

D'après une étude de 2013 sur 20 sujets sains, l'évaluation du diamètre des vaisseaux et de la largeur des boucles qu'ils forment semble assez reproductible entre des mesures répétées sur un même sujet, tandis que la mesure de la densité de vaisseaux était sujette à une plus grande variabilité (230).



Figure 60. La fibre optique est insérée dans le sillon gingival et une lumière verte (520 nm) illumine la dent et la gencive (231).

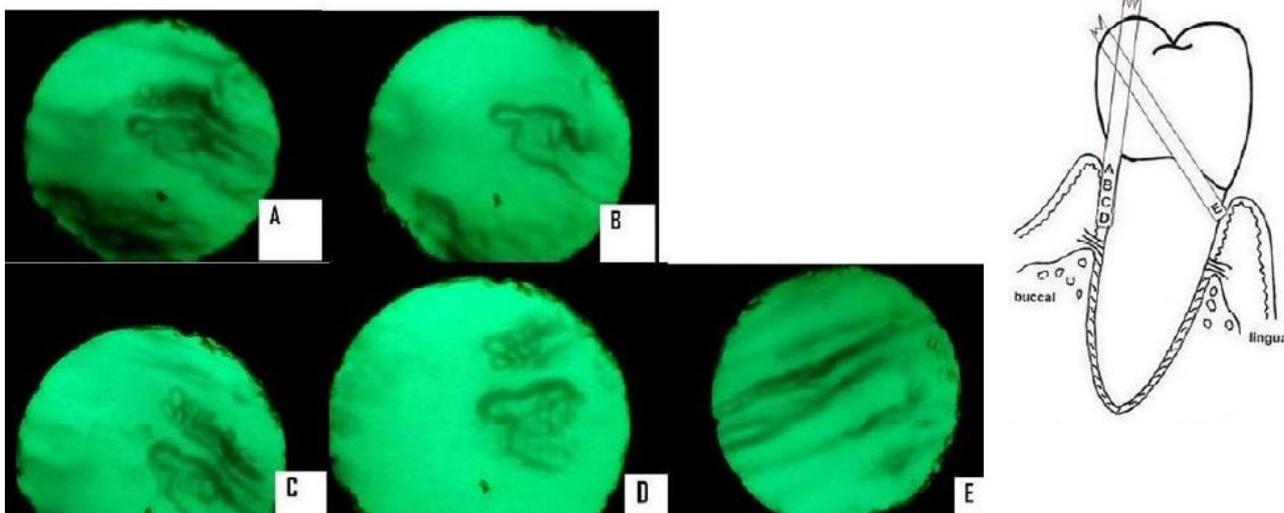


Figure 61. Images obtenues par capillaroscopie endoscopique (231).

- A : au niveau de l'entrée du sulcus
- B : un peu plus loin dans le sulcus
- C : à la moitié de la profondeur du sulcus
- D : au fond du sulcus
- E : Vue oblique des capillaires

Au fur et à mesure de l'avancée de la sonde, on remarque que le sang quitte les capillaires à cause de la pression exercée par l'embout.

Même si des études supplémentaires sont nécessaires, cette technologie a le potentiel pour être utilisée afin d'observer l'augmentation du nombre et du diamètre des capillaires sanguins gingivaux associée à la maladie parodontale (45).

E. LA SPECTROSCOPIE DANS L'INFRAROUGE PROCHE

La spectroscopie dans l'infrarouge proche (*Near-Infrared Spectroscopy* ou NIRS) est une méthode simple et utilisée depuis de nombreuses années en médecine pour l'évaluation non invasive de la composition des tissus biologiques (223).

Des **ondes infrarouges** de longueur d'onde proche du domaine du visible, c'est-à-dire entre 780 nm à 2500 nm, sont émises afin que **certaines molécules d'intérêt les absorbent** et émettent, en retour, un signal caractéristique mesurable. En parodontologie, on s'intéresse principalement à **l'eau, l'hémoglobine désoxygénée (Hb) et l'hémoglobine oxygénée (HbO₂)** contenues dans les tissus gingivaux.

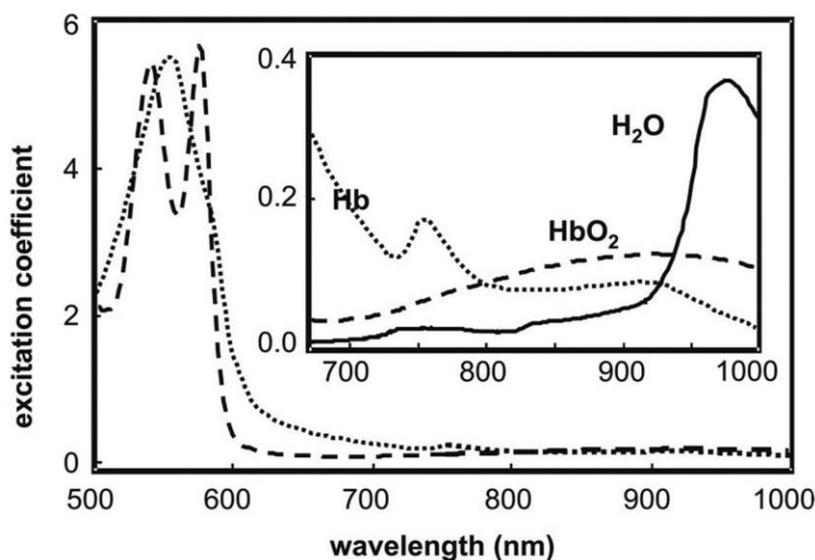


Figure 62. Spectre de référence de l'absorption de l'infrarouge proche (500-1000 nm) par l'eau, l'hémoglobine désoxygénée (Hb) et l'hémoglobine oxygénée (HbO₂) (232).

Dans le cadre rapproché, l'échelle est multipliée par 10 afin de voir la bande correspondant à la longueur d'onde d'excitation de l'eau (960 nm).

La concentration plus importante d'hémoglobine désoxygénée et donc la baisse de l'oxygénation des tissus est un signe de l'inflammation. D'après les premières études, cette concentration est significativement plus élevée dans les sites atteints de parodontite par rapport aux sites sains ou atteints de gingivite (232–236).

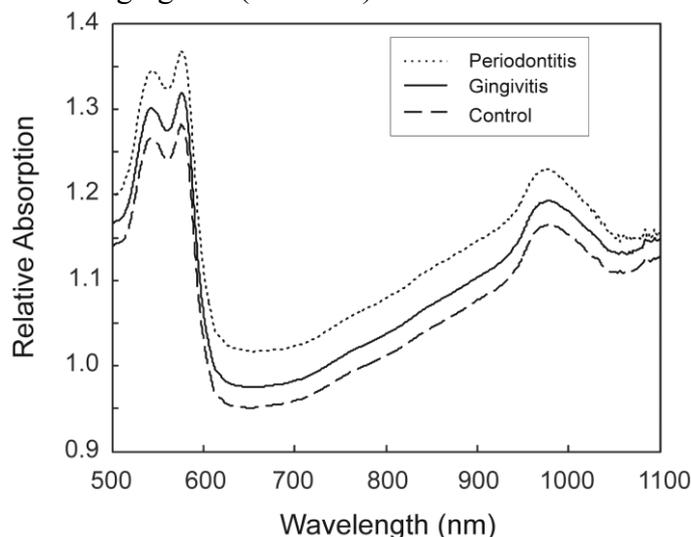


Figure 63. Spectres moyens des sites sains, atteints de gingivite et atteints de parodontite (232).

Un spectromètre portable peut ainsi être utilisé pour mesurer l'inflammation des tissus parodontaux et différencier les sites sains des sites enflammés (223,237).

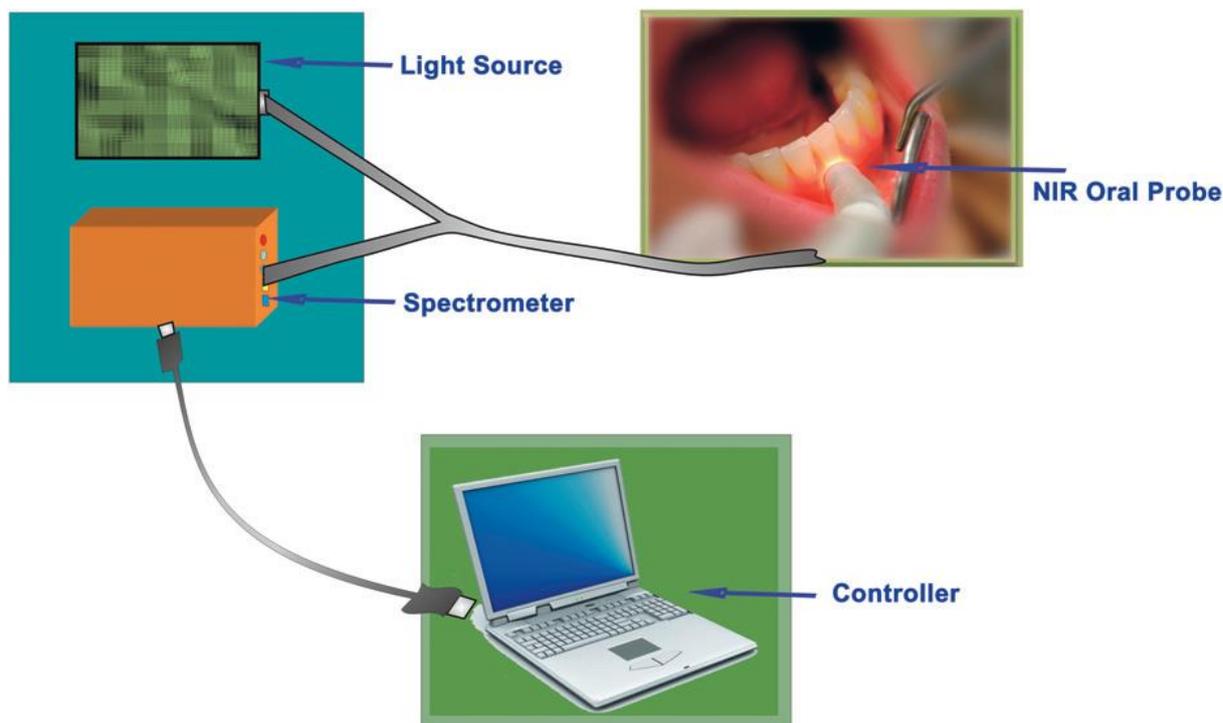


Figure 64. La sonde par spectroscopie dans l'infrarouge proche, composée d'une source d'infrarouges et d'un spectromètre, reliés à un ordinateur (234).

La spectroscopie optique apparaît donc comme un examen complémentaire prometteur pour évaluer l'inflammation. L'acquisition est **instantanée, non ionisante, simple d'utilisation** et **ne nécessite pas de consommables** (213).

F. L'IMAGERIE PHOTOACOUSTIQUE

L'imagerie photoacoustique est une technique émergente qui a montré un haut potentiel dans la recherche préclinique et la pratique clinique. Ces dernières années, ce procédé a évolué rapidement et a mené à une variété de découvertes et d'application intéressantes.

Cette imagerie hybride **non ionisante** est basée sur la **détection acoustique de l'absorption de lumière par des chromophores** endogènes (comme l'hémoglobine) ou exogènes (comme des colorants organiques). Ces molécules colorées absorbent le **faisceau laser émis via des fibres optiques**. L'énergie lumineuse absorbée est convertie en chaleur et provoque une augmentation de la température. L'expansion thermoélastique résultante **émet des ondes ultrasonores se propageant dans les tissus**. La détection de ces ultrasons et leur conversion en signaux électriques permet de reconstruire **des images en haute résolution** (jusqu'à $5\mu\text{m}$) des chromophores et des tissus environnants (96,238).

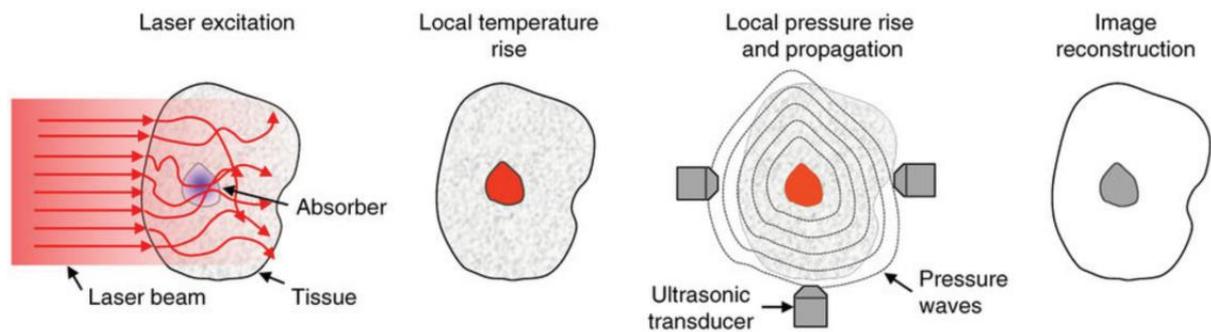


Figure 65. Schéma explicatif du fonctionnement de l'imagerie photoacoustique (239).

De gauche à droite :

- Le faisceau laser excite le chromophore (absorber)
- La température locale augmente
- La dilatation du chromophore provoque l'émission de vagues de pression captées par un transducteur ultrasonique
- L'image est reconstruite informatiquement à partir des ultrasons captés

Cette technique d'imagerie possède certains avantages. La profondeur de champ est augmentée par rapport à la tomographie optique **jusqu'à 5cm** car les ultrasons sont moins atténués que la lumière dans les tissus. La photoacoustique permet d'obtenir de **meilleurs contrastes des tissus que l'ultrasonographie** avec une durée d'examen inférieure à l'IRM. Cependant, **les cavités remplies de gaz et les couches d'os épaisses empêchent les ultrasons de passer de manière exploitable** (96,238).

Lin et al. (240) ont montré la faisabilité des mesures de profondeur de poche en utilisant l'imagerie photoacoustique. En **remplissant des poches parodontales** artificiellement approfondies de mâchoires de porc avec un **colorant comestible à base d'encre de seiche**, ils ont réussi à obtenir des **mesures de profondeur de poches** relativement proches de celles faites avec une sonde Williams, avec une **précision de 0,01 mm**. L'épaisseur gingivale peut être mesurée dans le même temps.

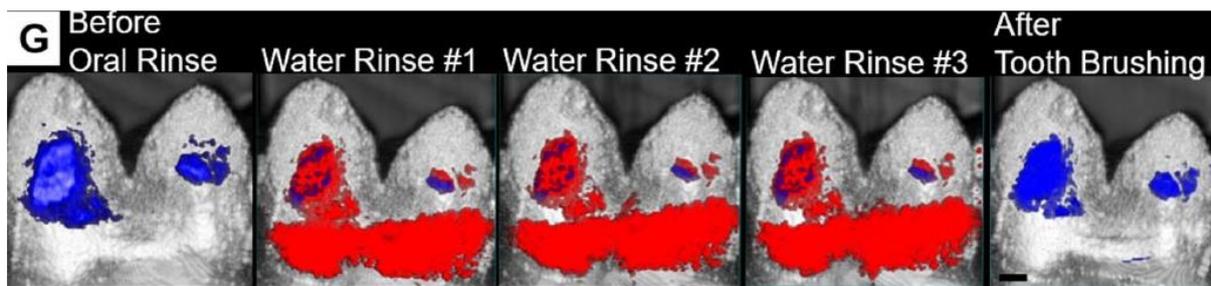


Figure 66. Tâches (en bleu) et agent de contraste (en rouge) présents autour d'une dent de porc ex vivo (240).

On voit que l'agent à base d'encre de seiche reste au niveau de la poche parodontale après 3 rinçage à l'eau (seulement 3 sur la figure par manque de place). Le brossage des dents permet de l'éliminer totalement.

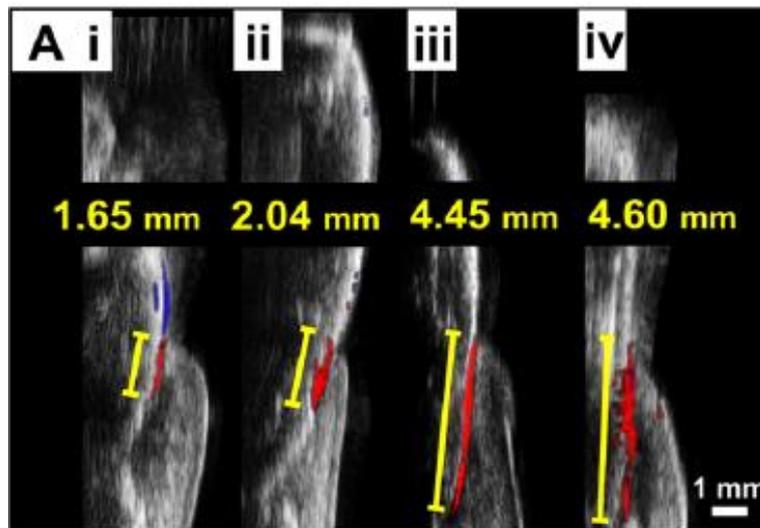


Figure 67. Profondeurs de poches mesurées via l'imagerie photoacoustique sur une mâchoire de porc ex vivo (240).

Certaines limites ont été mises en évidence comme l'atténuation des ultrasons pour les mesures des poches infra-osseuses ou interproximales. La présence de restaurations peut aussi provoquer un fond interférant avec le signal. La pression du fluide gingivale peut aussi empêcher la pénétration de l'agent de contraste jusqu'au fond des poches.

Moore et al. (241) ont effectué les **premières mesures de profondeur de poches sur l'être humain**. Leurs résultats indiquent que l'imagerie photoacoustique donne **des résultats en adéquation avec les mesures faites par un parodontiste expérimenté** tout en procurant significativement plus d'informations spatiales et de précision. De plus, la technique paraît **hautement reproductible** avec une déviation standard de 10%.

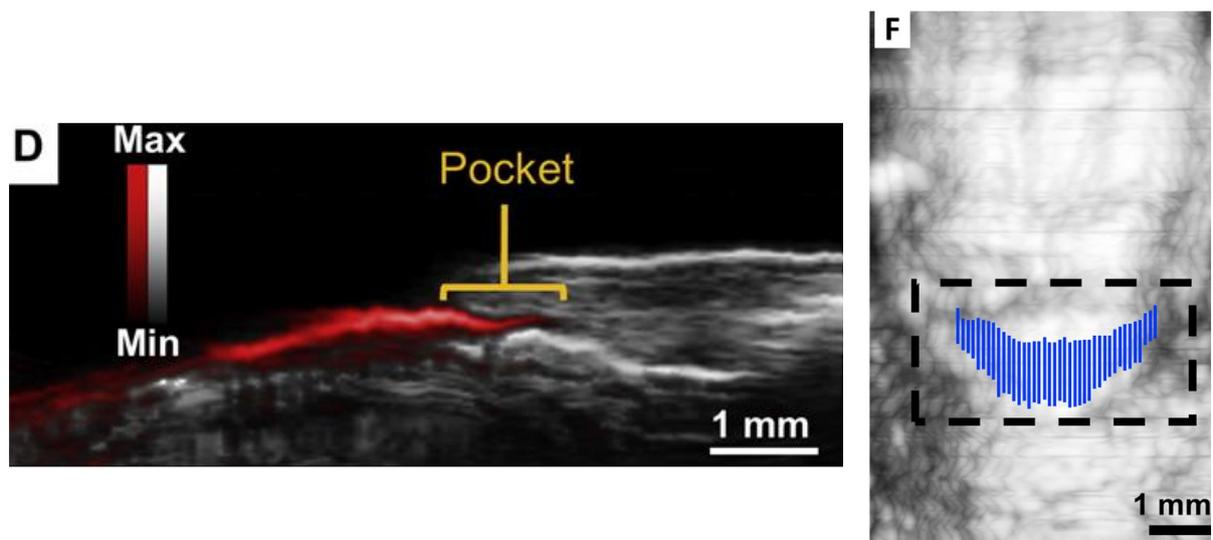


Figure 68. (D) Coupe sagittale au niveau de la dent 25 sur une image photoacoustique (241).

On voit l'interface entre les tissus mous et durs et la poche révélée par l'agent de contraste sous le bord gingival.

(F) Rendu final de la modélisation de la poche par imagerie photoacoustique. Chaque longueur (en bleu) a été mesurée manuellement à partir des coupes sagittales et superposée sur le modèle 3D. Il est possible d'envisager la programmation d'un algorithme afin d'automatiser cette tâche à l'avenir.

Des avancées techniques ont déjà été documentées comme la réduction des artefacts dus au mouvement lors de l'acquisition (242) ou l'utilisation de transducteur courbés pour faciliter l'acquisition au niveau des secteurs postérieurs (243).

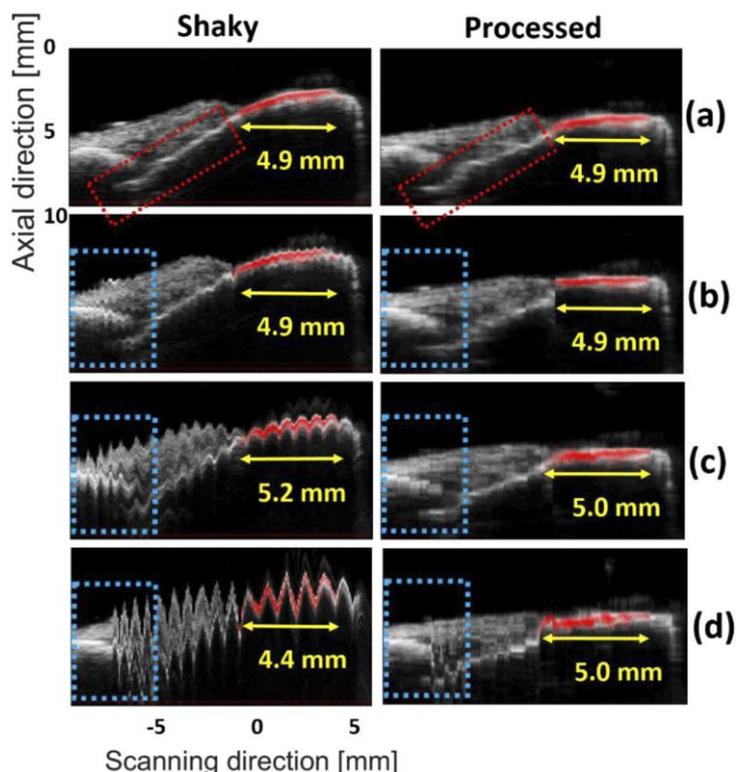


Figure 69. Un moteur émet des vibrations pendant l'acquisition de force croissante de (a) à (d) (242).

- A gauche, les vues sagittales des images générées ex vivo sans traitement. On remarque que l'amplification des vibrations crée un artefact handicapant la lecture de l'image.
- A droite, les mêmes images après traitement de suppression des artefacts dus à la vibration. L'étendue de l'agent de contraste (en rouge) est mesurée plus précisément.

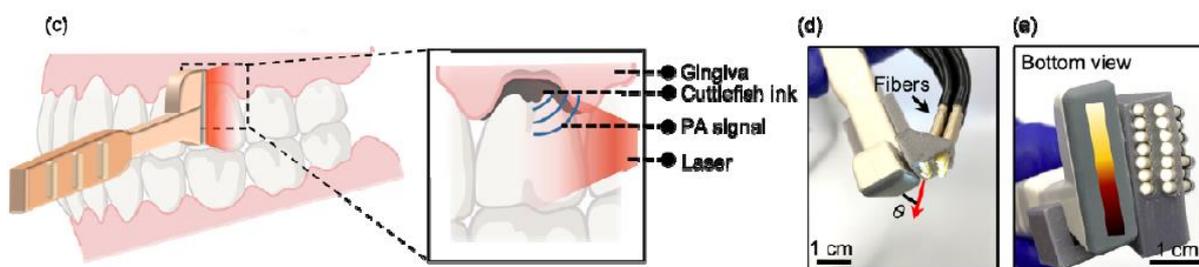


Figure 70. (d) et (e) L'acquisition du parodonte et de la poche parodontale avec un transducteur courbée en forme de « crosse de hockey » (243).

(c) La lumière laser absorbée par l'encre de seiche (cuttlefish ink) provoque l'émission d'ultrasons (PA signal).

Pour conclure, on voit que l'injection d'un agent de contraste dans les poches permet l'acquisition d'images et la **mesure des profondeurs de poche** par imagerie photoacoustique, supprimant ainsi le besoin de sonder.

Le développement de solutions utilisant cette technologie permettrait le relevé **rapide, non invasif et sans danger** de mesures parodontales d'importance critique.

G.L'IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est un outil diagnostique **non invasif** et **non irradiant** produisant **des images de haute résolution** dans différents plans des tissus mous.

Un aimant supraconducteur produit un **champ magnétique** puissant et stable qui aligne les moments magnétiques de spin des noyaux d'hydrogène dans les molécules d'eau. Une **radiofréquence** spécifique est émise afin de créer une résonance des spins nucléaires mesurable et convertissable en signal électrique. Différentes séquences d'enregistrement et l'utilisation d'agents de contraste permettent d'obtenir des coupes anatomiques et/ou fonctionnelles d'une résolution inférieure au millimètre. Après traitement et reconstruction 2D ou 3D, on obtient des images dont le contraste dépend des temps de relaxation des atomes d'hydrogène des tissus. Ainsi dans les tissus mous formés en grande partie d'eau, l'IRM offre **une discrimination des tissus mous d'une grande sensibilité** (45,96,244).

L'IRM a pour inconvénient d'être un examen coûteux, assez long, bruyant et contre-indiqué chez les patients porteurs de pacemaker ou de certains autres éléments métalliques. De plus, le passage dans le tunnel peut être une épreuve pour les patients claustrophobes (245).

Quelques études récentes ont essayé de déterminer l'intérêt de l'IRM pour visualiser le parodonte. **La gencive et l'os alvéolaire semblent être les plus à même d'être observées à l'IRM** bien que des champs magnétiques de faible intensité ont récemment permis d'obtenir des images des tissus mous et durs des maxillaires ex vivo (246).

L'amélioration et l'optimisation des séquences IRM pour les structures maxillo-mandibulaires et le développement de bobines réceptrices spécialement conçues pour l'imagerie des maxillaires permet d'améliorer le rendu final (247–249).

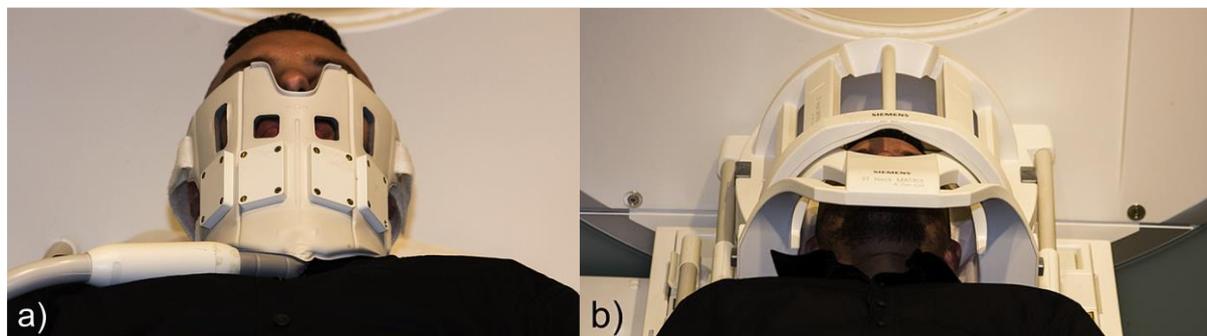


Figure 71. Bobine positionnée pour examen IRM in vivo (249) :

(a) Volontaire avec une bobine spécialement conçue pour l'étude, positionnée proche des maxillaires et fixée avec des bandes velcros

(b) Volontaire avec la bobine standard pour l'imagerie de la face, du crâne et du cou.

L'IRM permet de visualiser les défauts osseux verticaux et horizontaux des atteintes de furcation avec une précision semblable au CBCT (250,251). De plus, il permet d'évaluer la proportion résiduelle de support osseux à la place des radiographies rétro-alvéolaires (252).

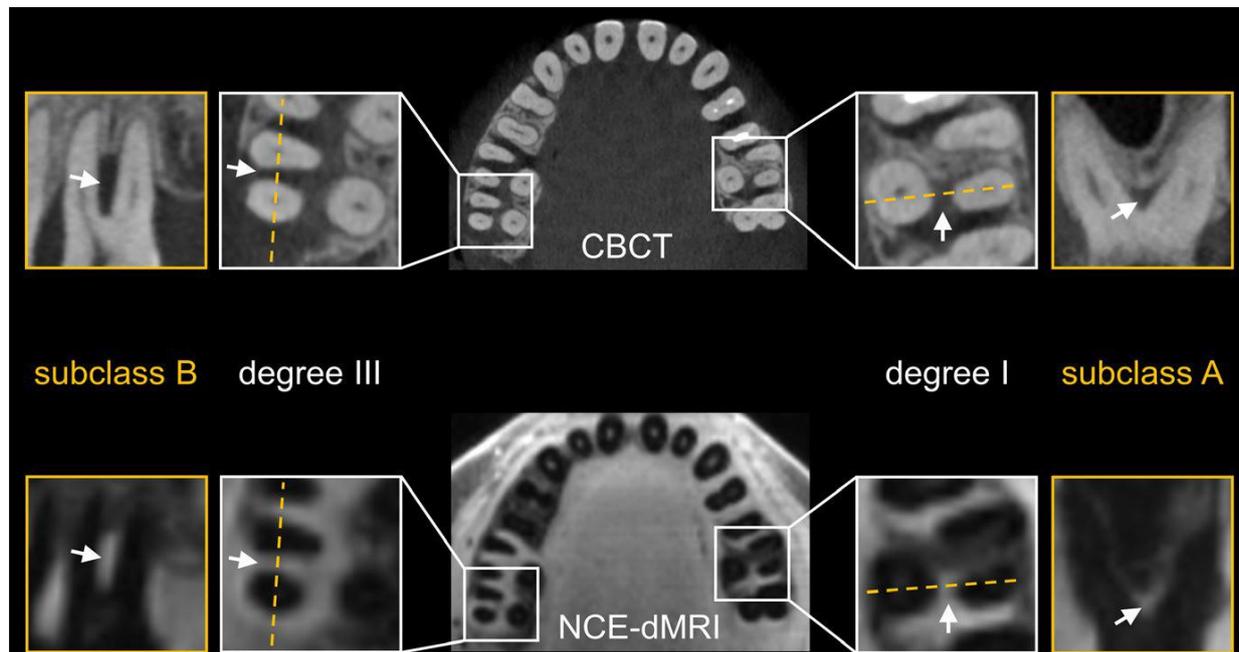


Figure 72. Image d'un maxillaire au CBCT (en haut) et à l'IRM (en bas), l'appréciation des défauts osseux est possible avec les deux techniques (251).

Des études récentes ont essayé d'utiliser différentes séquences d'IRM comme un indicateur quantitatif du niveau d'inflammation gingivale que ce soit avec (253) ou sans agent de contraste (254).

En 2009, Schara et al. ont mené une étude longitudinale sur 8 sujets atteints de parodontite qui a montré une réduction de l'inflammation visible à l'IRM à l'aide d'un agent de contraste, avant et après thérapeutique non chirurgicale (253).

En 2017, Newbould et al. ont mesuré les niveaux d'inflammation à l'IRM sans agent de contraste entre des individus sains et présentant une gingivite. Les mesures étaient possibles et précises mais ne permettaient pas de différencier les cas de gingivite des individus sains (254).

Des expérimentations supplémentaires sont nécessaires pour évaluer la faisabilité et la mise en pratique de ces techniques.

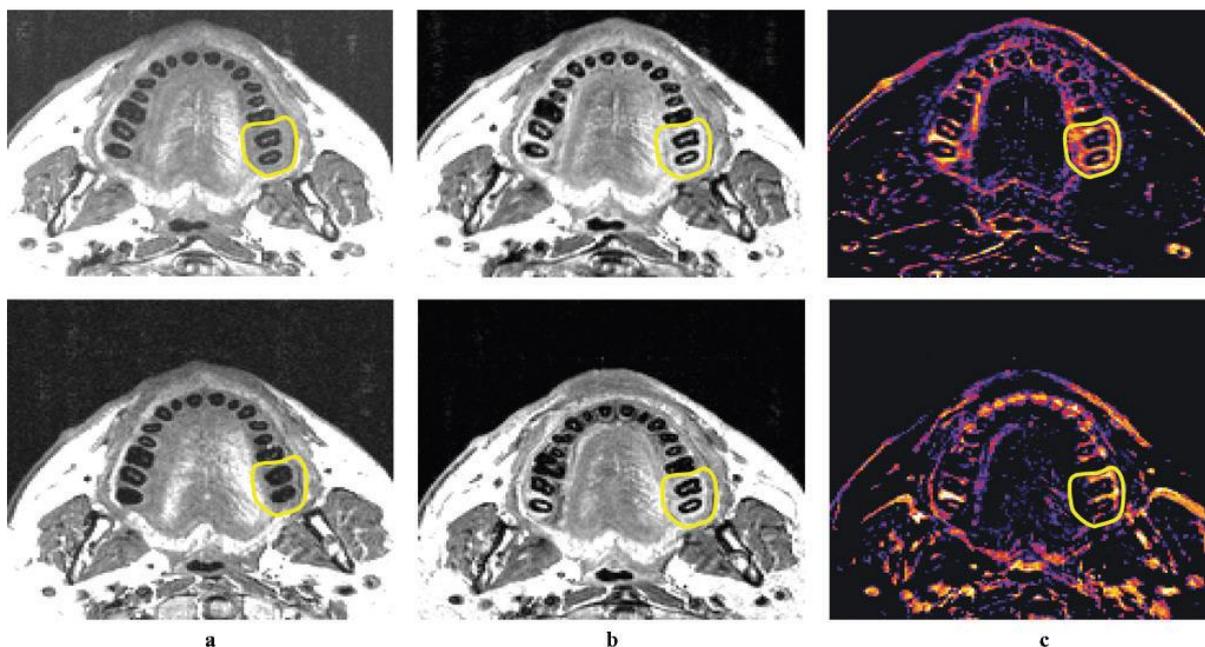


Figure 73. Images par résonance magnétiques avant (en haut) et 3 mois après la thérapeutique non-chirurgicale (en bas) (253).

- (a) : images standards IRM
- (b) : images après administration de l'agent de contraste à base de Gadolinium, on remarque l'accumulation dans les tissus enflammés
- (c) : image après soustraction informatisée (colonne b – colonne a), l'image représente ainsi uniquement le signal de l'agent de contraste.

En 2021, une étude allemande a comparé les mesures cliniques aux mesures d'inflammation par résonance magnétique sur 42 sujets atteints de parodontite et 34 patients sains. L'IRM permet ainsi de visualiser les défauts osseux ainsi que l'œdème osseux, c'est-à-dire l'accumulation d'eau dans l'os sujet à l'inflammation. La taille et le volume de cet œdème sont significativement corrélés à la profondeur de sondage et au saignement au sondage. A contrario, la perte osseuse n'est pas associée à de l'œdème ce qui indique que la présence d'œdème est liée principalement aux signes cliniques d'activité de la parodontite plutôt qu'aux destructions parodontales passées. L'IRM est aussi capable de détecter précocement des changements intraosseux avant la survenue d'ostéolyse (255).

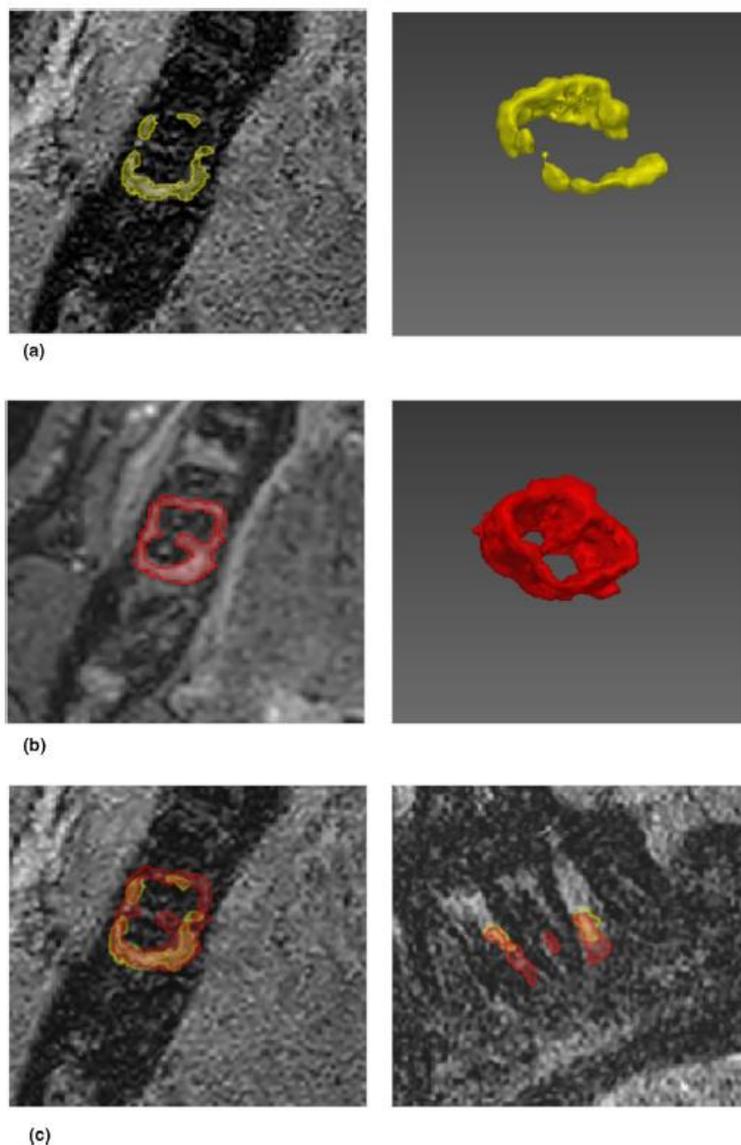


Figure 74. Images issues de différentes séquences d'IRM (255).

- (a) : coupe axiale du défaut osseux (en jaune) autour de la dent 47 et sa modélisation 3D
- (b) : coupe axiale de l'œdème osseux (en rouge) autour de cette même dent et sa modélisation 3D
- (c) Reconstructions axiale et para-sagittale des séquences précédentes montrant que l'étendue de l'œdème osseux surpasse celle du défaut osseux

Ainsi, l'IRM apparaît comme une technologie prometteuse dans le diagnostic parodontal précoce et la planification du plan de traitement (45).

CONCLUSION

Nous avons vu que le sondage parodontal est depuis longtemps et reste encore aujourd'hui un outil primordial dans le dépistage et le diagnostic parodontal.

La sonde parodontale est indispensable pour déterminer cliniquement la perte d'attache, l'état inflammatoire gingival et les atteintes de furcation : trois éléments majeurs pour définir l'état physiologique ou pathologique du parodonte.

Elle détermine principalement une estimation exploitable de la profondeur de poche biologique et une évaluation de l'inflammation du parodonte. De nombreuses avancées technologiques ont essayé d'optimiser cet instrument que ce soit au niveau de la pression exercée, de la lecture de la mesure, de la saisie informatique, etc... Ces améliorations ont pour but d'améliorer la fiabilité, la reproductibilité et la simplicité d'utilisation des sondes parodontales.

Cependant, les sondes actuellement disponibles possèdent toujours certaines limites : elles sont inconfortables voire douloureuses chez certains patients, elles causent une bactériémie modérée, le relevé complet est chronophage, etc...

De plus, il existe une grande diversité dans les instruments disponibles et utilisés. La sonde manuelle reste une référence et est majoritairement utilisée en pratique clinique mais de nombreux modèles aux caractéristiques variables sont utilisés malgré la création d'une norme ISO. Une mise à jour de cette norme semble nécessaire afin de définir un standard global de sonde parodontale, d'autant plus quand on remarque l'absence évidente de consensus sur la meilleure combinaison de force de sondage et de design de la sonde (21).

Les mesures de profondeur de sondage consignées dans les chartings parodontaux sont généralement limitées à une mesure bidimensionnelle au millimètre près sur seulement six sites par dent.

Toutes ces limites font, qu'actuellement, l'utilisation des sondes parodontales n'est pas systématique à travers le monde et il existe de grandes disparités dans les fréquences et les méthodes de sondage parmi les chirurgiens-dentistes.

Afin de répondre à ces limites, l'imagerie médicale semble être un outil complémentaire, voire alternatif au sondage parodontal. Récemment, des techniques d'imagerie médicale utilisant des propriétés physiques variées ont été appliquées au parodonte lors d'études cliniques. Ces technologies permettent de mettre en lumière la structure des tissus mous voire durs et les signes d'inflammation gingivale en deux ou trois dimensions. Les premiers résultats laissent penser que l'imagerie médicale permet d'effectuer des mesures de perte d'attache et de l'état d'inflammation semblables à celles effectuées cliniquement. Par rapport aux sondes parodontales, ces nouvelles techniques d'imagerie du parodonte ont pour avantage d'être plus fiables, précises, reproductibles et rapides tout en étant peu ou pas invasives et, pour la plupart, non ionisantes.

Ces premiers résultats sont prometteurs quant à la possibilité de voir émerger des solutions d'imagerie du parodonte. Des études supplémentaires et le développement de solutions accessibles sont nécessaires avant de voir des applications cliniques utilisables en pratique régulière.

A l'avenir, il est ainsi possible qu'une ou plusieurs de ces techniques aient des implications importantes dans les pratiques diagnostiques. Il est même envisageable que des programmes informatiques capables de superposer les images issues de différentes techniques d'imagerie, soient développées afin d'améliorer l'interprétation diagnostique des clichés. Des croisements de fichiers 3D issus de caméras optiques et de CBCT permettent déjà de mesurer

l'épaisseur gingivale (256). On peut imaginer que des croisements de clichés radiologiques 3D concernant l'inflammation et les structures des tissus parodontaux puissent nous aider à discriminer et situer précisément les sites les plus à risque.

Ces perspectives pourraient permettre de standardiser et d'augmenter fortement la quantité et la qualité des données issues du parodonte que ce soit en termes de précision, de résolution ou de reproductibilité. La simple mesure des profondeurs de sondage pourrait laisser place à une évaluation du volume et du contenu des poches parodontales. Grâce à l'imagerie médicale, de grandes avancées seraient ainsi possibles en parodontologie concernant le dépistage, le diagnostic, le suivi, l'éducation thérapeutique et l'enseignement.

Ces outils pourraient signer un véritable changement de paradigme dans le diagnostic parodontal. Il est probable que des avancées en terme d'imagerie du parodonte sain et enflammé redessinent la nosographie des maladies parodontales afin d'articuler les critères de ces classifications autour de ces nouvelles données quantitatives. Pour cela, il serait nécessaire que des recommandations claires, uniformisées et accessibles suivent le déploiement de ces technologies afin d'accompagner les chirurgiens-dentistes dans ces nouvelles manières de voir et classer les maladies parodontales.

Enfin, on peut noter que d'autres pistes comme la détection de biomarqueurs associés aux maladies parodontales semblent aussi prometteuses dans le dépistage et le diagnostic parodontal (45).

BIBLIOGRAPHIE

1. Berglundh T, Giannobile WV, Sanz M, Lang NP. *Lindhe's Clinical Periodontology and Implant Dentistry*. 7ème ed. Hoboken: John Wiley & Sons; 2021.
2. Dridi SM, Meyer J. Anatomie et histologie de la gencive saine. *Images En Dermatol*. avr 2016;9(2):43-55.
3. Schroeder HE, Listgarten MA. The gingival tissues: the architecture of periodontal protection. *Periodontol 2000*. 1997;13(1):91-120.
4. Schmidt JC, Sahrman P, Weiger R, Schmidlin PR, Walter C. Biologic width dimensions – a systematic review. *J Clin Periodontol*. 2013;40(5):493-504.
5. Sanz M, Herrera D, Kerschull M, Chapple I, Jepsen S, Berglundh T, et al. Treatment of stage I–III periodontitis—The EFP S3 level clinical practice guideline. *J Clin Periodontol*. juill 2020;47(S22):4-60.
6. Kassebaum NJ, Smith AGC, Bernabé E, Fleming TD, Reynolds AE, Vos T, et al. Global, regional, and national prevalence, incidence, and disability-adjusted life years for oral conditions for 195 countries, 1990–2015: a systematic analysis for the global burden of diseases, injuries, and risk factors. *J Dent Res*. avr 2017;96(4):380-7.
7. Billings M, Holtfreter B, Papapanou PN, Mitnik GL, Kocher T, Dye BA. Age-dependent distribution of periodontitis in two countries: Findings from NHANES 2009 to 2014 and SHIP-TREND 2008 to 2012. *J Clin Periodontol*. 2018;45(S20):S130-48.
8. Lang NP, Bartold PM. Periodontal health. *J Clin Periodontol*. 2018;45(S20):S9-16.
9. Kinane DF, Peterson M, Stathopoulou PG. Environmental and other modifying factors of the periodontal diseases. *Periodontol 2000*. 2006;40(1):107-19.
10. Bosshardt DD. The periodontal pocket: pathogenesis, histopathology and consequences. *Periodontol 2000*. févr 2018;76(1):43-50.
11. Newman MG, Takei H, Klokkevold PR, Carranza FA. *Newman and Carranza's Clinical Periodontology*. 13th ed. Philadelphia: Elsevier Health Sciences; 2018.
12. Kwon T, Lamster IB, Levin L. Current concepts in the management of periodontitis. *Int Dent J*. déc 2021;71(6):462-76.
13. Socransky S s., Haffajee A d., Cugini M a., Smith C, Kent Jr. RL. Microbial complexes in subgingival plaque. *J Clin Periodontol*. 1998;25(2):134-44.
14. Dahlen G, Fejerskov O, Manji F. Current concepts and an alternative perspective on periodontal disease. *BMC Oral Health*. déc 2020;20(1):235.
15. Socransky SS, Haffajee AD, Goodson JM, Lindhe J. New concepts of destructive periodontal disease. *J Clin Periodontol*. 1984;11(1):21-32.
16. Albandar JM, Susin C, Hughes FJ. Manifestations of systemic diseases and conditions that affect the periodontal attachment apparatus: Case definitions and diagnostic

- considerations. *J Periodontol.* 2018;89(S1):S183-203.
17. Jepsen S, Caton JG, Albandar JM, Bissada NF, Bouchard P, Cortellini P, et al. Periodontal manifestations of systemic diseases and developmental and acquired conditions: Consensus report of workgroup 3 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *J Clin Periodontol.* 2018;45(S20):S219-29.
 18. Armitage GC. The complete periodontal examination. *Periodontol* 2000. 2004;34(1):22-33.
 19. Clerehugh V, Abdeia R, Hull PS. The effect of subgingival calculus on the validity of clinical probing measurements. *J Dent.* sept 1996;24(5):329-33.
 20. Jeffcoat MK, Jeffcoat RL, Jens SC, Captain K. A new periodontal probe with automated cemento-enamel junction detection. *J Clin Periodontol.* avr 1986;13(4):276-80.
 21. Trombelli L, Farina R, Silva CO, Tatakis DN. Plaque-induced gingivitis: Case definition and diagnostic considerations. *J Clin Periodontol.* 2018;45(S20):S44-67.
 22. Lobene RR. Discussion: Current status of indices for measuring gingivitis. *J Clin Periodontol.* 1986;13(5):381-2.
 23. Löe H. The Gingival Index, the Plaque Index and the Retention Index Systems. *J Periodontol.* nov 1967;38(6):610-6.
 24. McClanahan SF, Bartizek RD, Biesbrock AR. Identification and consequences of distinct Löe-Silness gingival index examiner styles for the clinical assessment of gingivitis. *J Periodontol.* 2001;72(3):383-92.
 25. American Dental Hygienists' Association. Biofilm control at the gingival frontier : 3-step oral hygiene [Internet]. 2022 [cité 30 avr 2022]. Disponible sur: https://www.adha.org/resources-docs/Tear_Save_Johnson_Johnson_Bio_film_Control.pdf
 26. Addy M, Renton-Harper P, Newcombe R. Plaque regrowth studies: discriminatory power of plaque index compared to plaque area. *J Clin Periodontol.* 1999;26(2):110-2.
 27. O'Leary TJ, Drake RB, Naylor JE. The plaque control record. *J Periodontol.* janv 1972;43(1):38.
 28. Mühlemann HR. Tooth mobility: the measuring method. initial and secondary tooth mobility. *J Periodontol.* 1954;25(1):22-9.
 29. Hasturk H, Cugini M. Examiner standardization and calibration for oral and periodontal regenerative studies. In: W V Giannobile, N P Lang, & M S Tonetti *Osteology guidelines for oral and maxillofacial regeneration clinical research.* Lucerne: Osteology Foundation, Quintessence Publishing; 2014. p. 97-120.
 30. Agüero A, Garnick JJ, Keagle J, Steflik DE, Thompson WO. Histological location of a standardized periodontal probe in man. *J Periodontol.* mars 1995;66(3):184-90.
 31. Pihlstrom BL. Periodontal risk assessment, diagnosis and treatment planning.

- Periodontol 2000. févr 2001;25(1):37-58.
32. Armitage GC. Periodontal diseases: diagnosis. *Ann Periodontol.* nov 1996;1(1):37-215.
 33. Van der Velden U. Probing force and the relationship of the probe tip to the periodontal tissues. *J Clin Periodontol.* avr 1979;6(2):106-14.
 34. Garnick JJ, Silverstein L. Periodontal probing: probe tip diameter. *J Periodontol.* janv 2000;71(1):96-103.
 35. Reddy MS. The use of periodontal probes and radiographs in clinical trials of diagnostic tests. *Ann Periodontol.* mars 1997;2(1):113-22.
 36. Barendregt DS, Van der Velden U, Timmerman MF, van der Weijden GA. Comparison of two automated periodontal probes and two probes with a conventional readout in periodontal maintenance patients. *J Clin Periodontol.* avr 2006;33(4):276-82.
 37. Bulthuis HM, Barendregt DS, Timmerman MF, Loos BG, van der Velden U. Probe penetration in relation to the connective tissue attachment level: influence of tine shape and probing force. *J Clin Periodontol.* mai 1998;25(5):417-23.
 38. Spray JR, Garnick JJ, Doles LR, Klawitter JJ. Microscopic demonstration of the position of periodontal probes. *J Periodontol.* mars 1978;49(3):148-52.
 39. Van der Velden U. Location of probe tip in bleeding and non-bleeding pockets with minimal gingival inflammation. *J Clin Periodontol.* nov 1982;9(6):421-7.
 40. Larsen C, Barendregt DS, Slot DE, Van der Velden U, Van der Weijden F. Probing pressure, a highly undervalued unit of measure in periodontal probing: a systematic review on its effect on probing pocket depth. *J Clin Periodontol.* avr 2009;36(4):315-22.
 41. Listgarten MA. Periodontal probing: what does it mean? *J Clin Periodontol.* juin 1980;7(3):165-76.
 42. Hefti AF. Periodontal probing. *Crit Rev Oral Biol Med.* 1997;8(3):336-56.
 43. Wolf DL, Lamster IB. Contemporary concepts in the diagnosis of periodontal disease. *Dent Clin North Am.* janv 2011;55(1):47-61.
 44. Burt BA, Giannobile WV, Genco RJ. *Clinical Research in Oral Health.* Hoboken: John Wiley & Sons; 2009.
 45. Ko TJ, Byrd KM, Kim SA. The chairside periodontal diagnostic toolkit: past, present, and future. *Diagn Basel Switz.* 22 mai 2021;11(6):932.
 46. Burt B. Position paper: epidemiology of periodontal diseases. *J Periodontol.* 2005;76(8):1406-19.
 47. Papapanou PN, Sanz M, Buduneli N, Dietrich T, Feres M, Fine DH, et al. Periodontitis: Consensus report of workgroup 2 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *J Periodontol.* 2018;89(S1):S173-82.

48. Checchi L, Montevecchi M, Checchi V, Zappulla F. The relationship between bleeding on probing and subgingival deposits. An endoscopical evaluation. *Open Dent J.* févr 2009;3:154-60.
49. Farina R, Tomasi C, Trombelli L. The bleeding site: a multi-level analysis of associated factors. *J Clin Periodontol.* août 2013;40(8):735-42.
50. Freed HK, Gapper RL, Kalkwarf KL. Evaluation of periodontal probing forces. *J Periodontol.* août 1983;54(8):488-92.
51. Lang NP, Nyman S, Senn C, Joss A. Bleeding on probing as it relates to probing pressure and gingival health. *J Clin Periodontol.* avr 1991;18(4):257-61.
52. Hofer D, Sahrman P, Attin T, Schmidlin PR. Comparison of marginal bleeding using a periodontal probe or an interdental brush as indicators of gingivitis. *Int J Dent Hyg.* août 2011;9(3):211-5.
53. Hamp SE, Nyman S, Lindhe J. Periodontal treatment of multi rooted teeth. *J Clin Periodontol.* 1975;2(3):126-35.
54. Campard G, Verner C. Les atteintes de furcations : quelles stratégies pour quels résultats ? *J Parodontol.* 2012;32:8.
55. Walter C, Kaner D, Berndt DC, Weiger R, Zitzmann NU. Three-dimensional imaging as a pre-operative tool in decision making for furcation surgery. *J Clin Periodontol.* 2009;36(3):250-7.
56. Tarnow D, Fletcher P. Classification of the vertical component of furcation involvement. *J Periodontol.* mai 1984;55(5):283-4.
57. Bower RC. Furcation morphology relative to periodontal treatment. Furcation entrance architecture. *J Periodontol.* janv 1979;50(1):23-7.
58. Moriarty JD, Hutchens LH, Scheitler LE. Histological evaluation of periodontal probe penetration in untreated facial molar furcations. *J Clin Periodontol.* janv 1989;16(1):21-6.
59. Nibali L, Krajewski A, Donos N, Völzke H, Pink C, Kocher T, et al. The effect of furcation involvement on tooth loss in a population without regular periodontal therapy. *J Clin Periodontol.* août 2017;44(8):813-21.
60. Huynh-Ba G, Kuonen P, Hofer D, Schmid J, Lang NP, Salvi GE. The effect of periodontal therapy on the survival rate and incidence of complications of multirrooted teeth with furcation involvement after an observation period of at least 5 years: a systematic review. *J Clin Periodontol.* 2009;36(2):164-76.
61. Korostoff J, Aratsu A, Kasten B, Mupparapu M. Radiologic assessment of the periodontal patient. *Dent Clin North Am.* janv 2016;60(1):91-104.
62. Praveen B, Shubhasini A, Bhanushree R, Sumsum P, Sushma C. Radiation in dental practice: awareness, protection and recommendations. *J Contemp Dent Pract.* févr 2013;14(1):143-8.
63. Graetz C, Plaumann A, Wiebe JF, Springer C, Sälzer S, Dörfer CE. Periodontal probing

- versus radiographs for the diagnosis of furcation involvement. *J Periodontol.* oct 2014;85(10):1371-9.
64. Nibali L, Shemie M, Li G, Ting R, Asimakopoulou K, Barbagallo G, et al. Periodontal furcation lesions: a survey of diagnosis and management by general dental practitioners. *J Clin Periodontol.* nov 2021;48(11):1441-8.
 65. Consolaro A. Occlusal trauma in orthodontic practice and V-shaped recession. *Dent Press J Orthod.* 2012;17(6):5-12.
 66. Tugnait A, Clerehugh V, Hirschmann PN. The usefulness of radiographs in diagnosis and management of periodontal diseases: a review. *J Dent.* mai 2000;28(4):219-26.
 67. Jeffcoat MK, Reddy MS. Advances in measurements of periodontal bone and attachment loss. *Monogr Oral Sci.* 2000;17:56-72.
 68. Baumhammers A, Ceravolo FJ. An improved diagnostic point to aid in radiographic interpretation. *J Periodontol.* janv 1977;48(1):52-3.
 69. Beltrán-Aguilar ED, Eke PI, Thornton-Evans G, Petersen PE. Recording and surveillance systems for periodontal diseases. *Periodontol 2000.* oct 2012;60(1):40-53.
 70. Dhingra K, Vandana KL. Indices for measuring periodontitis: a literature review. *Int Dent J.* avr 2011;61(2):76-84.
 71. Van der Velden U. The Dutch periodontal screening index validation and its application in The Netherlands. *J Clin Periodontol.* déc 2009;36(12):1018-24.
 72. Ainamo J, Barmes D, Beagrie G, Cutress T, Martin J, Sardo-Infirri J. Development of the World Health Organization (WHO) community periodontal index of treatment needs (CPITN). *Int Dent J.* sept 1982;32(3):281-91.
 73. Benigeri M, Brodeur JM, Payette M, Charbonneau A, Ismaïl AI. Community periodontal index of treatment needs and prevalence of periodontal conditions. *J Clin Periodontol.* mai 2000;27(5):308-12.
 74. Villalpando Mitchell T. Système de dépistage et de consignation des maladies parodontales : son utilisation lors de la détection de maladies parodontales [Internet]. 2022 [cité 30 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.dentalcare.ca/fr-ca/formation-professionnelle/cours-de-formation-continue-en-soins-dentaires/ce617/objectifs-du-depistage>
 75. Baelum V, Papapanou PN. CPITN and the epidemiology of periodontal disease Commentary. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1996;24(6):367-8.
 76. Dietrich T, Ower P, Tank M, West NX, Walter C, Needleman I, et al. Periodontal diagnosis in the context of the 2017 classification system of periodontal diseases and conditions - implementation in clinical practice. *Br Dent J.* janv 2019;226(1):16-22.
 77. British Society of Periodontology. Basic periodontal examination guidelines 2019. [cité 13 déc 2021]; Disponible sur: https://www.bsperio.org.uk/assets/downloads/BSP_BPE_Guidelines_2019.pdf
 78. Landry RG, Jean M. Periodontal Screening and Recording (PSR) Index: precursors,

- utility and limitations in a clinical setting. *Int Dent J.* févr 2002;52(1):35-40.
79. Lo Frisco C, Cutler R, Bramson JB. Periodontal screening and recording: perceptions and effects on practice. *J Am Dent Assoc.* juill 1993;124(7):226-9, 231-2.
 80. Organization World Health. Oral health surveys: basic methods. 5ème ed. Genève: World Health Organization; 2013.
 81. Meers E, Dekeyser C, Favril C, Teughels W, Quirynen M, Laleman I. Periodontal screening and referral behaviour of general dental practitioners in Flanders. *Clin Oral Investig.* avr 2018;22(3):1167-73.
 82. Romano F, Perotto S, Castiglione A, Aimetti M. Prevalence of periodontitis: misclassification, under-recognition or over-diagnosis using partial and full-mouth periodontal examination protocols. *Acta Odontol Scand.* avr 2019;77(3):189-96.
 83. Heaton B, Sharma P, Garcia RI, Dietrich T. Evaluating periodontal disease misclassification mechanisms under partial-mouth recording protocols. *J Clin Periodontol.* avr 2018;45(4):422-30.
 84. Susin C, Kingman A. Effect of partial recording protocols on estimates of prevalence of periodontal disease. *J Periodontol.* mars 2005;76:262-7.
 85. Rösing CK, Cavagni J, Malheiros Z, Stewart B, Aránguis Freyhofer V. Periodontal disease and its impact on general health in Latin America. Section IV: Diagnosis. *Braz Oral Res.* 2020;34(suppl 1):e022.
 86. Duguid R, Cowley GC. Use of a computer to plot and compare periodontal pocket charts. *Community Dent Oral Epidemiol.* déc 1982;10(6):320-2.
 87. Agudio G, Prato GP, Bartolucci EG. Computerized charting of probing depths. *J Periodontol.* déc 1985;56(12):766-9.
 88. Ramseier C, Wolf C, Rawyler B. [periodontalchart-online.com](https://www.periodontalchart-online.com) [Internet]. 2022 [cité 30 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.periodontalchart-online.com/fr/>
 89. Caton JG, Armitage G, Berglundh T, Chapple ILC, Jepsen S, Kornman KS, et al. A new classification scheme for periodontal and peri-implant diseases and conditions - Introduction and key changes from the 1999 classification. *J Periodontol.* juin 2018;89:S1-8.
 90. Chapple ILC, Mealey BL, Van Dyke TE, Bartold PM, Dommisch H, Eickholz P, et al. Periodontal health and gingival diseases and conditions on an intact and a reduced periodontium: consensus report of workgroup 1 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *J Clin Periodontol.* 2018;45(S20):S68-77.
 91. Tonetti MS, Greenwell H, Kornman KS. Staging and grading of periodontitis: framework and proposal of a new classification and case definition. *J Periodontol.* 2018;89(S1):S159-72.
 92. Marquez IC. How do I manage a patient with periodontal abscess? *J Can Dent Assoc.* 2013;79:d8.

93. Makeeva MK, Daurova FY, Byakova SF, Turkina AY. Treatment of an endo-perio lesion with ozone gas in a patient with aggressive periodontitis: a clinical case report and literature review. *Clin Cosmet Investig Dent.* oct 2020;12:447-64.
94. Pihlstrom BL. Measurement of attachment level in clinical trials: probing methods. *J Periodontol.* déc 1992;63(12 Suppl):1072-7.
95. Khan S, Cabanilla LL. Periodontal probing depth measurement: a review. *Compend Contin Educ Dent.* janv 2009;30(1):12-4, 16, 18-21; quiz 22, 36.
96. Elashiry M, Meghil MM, Arce RM, Cutler CW. From manual periodontal probing to digital 3-D imaging to endoscopic capillaroscopy: recent advances in periodontal disease diagnosis. *J Periodontal Res.* févr 2019;54(1):1-9.
97. Atassi F, Newman HN, Bulman JS. Probe tine diameter and probing depth. *J Clin Periodontol.* mai 1992;19(5):301-4.
98. Barendregt DS, Van der Velden U, Reiker J, Loos BG. Clinical evaluation of tine shape of 3 periodontal probes using 2 probing forces. *J Clin Periodontol.* avr 1996;23(4):397-402.
99. Van der Zee E, Davies EH, Newman HN. Marking width, calibration from tip and tine diameter of periodontal probes. *J Clin Periodontol.* août 1991;18(7):516-20.
100. Ramachandra SS, Mehta DS, Sandesh N, Baliga V, Amarnath J. Periodontal probing systems: a review of available equipment. *Compend Contin Educ Dent.* mars 2011;32(2):71-7.
101. Dumitrescu AL. *Understanding Periodontal Research.* Heidelberg: Springer; 2012.
102. Holtfreter B, Alte D, Schwahn C, Desvarieux M, Kocher T. Effects of different manual periodontal probes on periodontal measurements. *J Clin Periodontol.* nov 2012;39(11):1032-41.
103. van Weringh M, Barendregt DS, Rosema N a. M, Timmerman MF, van der Weijden GA. A thin or thick probe handle: does it make a difference? *Int J Dent Hyg.* août 2006;4(3):140-4.
104. Andrade R, Espinoza M, Gómez EM, Espinoza JR, Cruz E. Intra- and inter-examiner reproducibility of manual probing depth. *Braz Oral Res.* févr 2012;26(1):57-63.
105. Perry DA, Taggart EJ, Leung A, Newburn E. Comparison of a conventional probe with electronic and manual pressure-regulated probes. *J Periodontol.* oct 1994;65(10):908-13.
106. Bergenholtz A, al-Harbi N, al-Hummayani FM, Anton P, al-Kahtani S. The accuracy of the Vivacare true pressure-sensitive periodontal probe system in terms of probing force. *J Clin Periodontol.* févr 2000;27(2):93-8.
107. García-Godoy F, Trushkowsky RD. A diagnostic device to record dentin hypersensitivity. *Am J Dent.* mai 2013;26 (Spec No B):3B-4B.
108. Polson AM, Caton JG, Yeaple RN, Zander HA. Histological determination of probe tip penetration into gingival sulcus of humans using an electronic pressure-sensitive probe.

J Clin Periodontol. déc 1980;7(6):479-88.

109. Gallob J, Pejmon Amini, Jimmy Qaqish, James H. Kemp, William DeVizio, Pat Chaknis. A clinical study to determine the tooth hypersensitivity reduction in subjects who brushed with the new Colgate 360° sensitive toothbrush. *Compend Contin Educ Dent* [Internet]. août 2009;30(6). Disponible sur: <https://www.aegisdentalnetwork.com/cced/2009/08/tooth-hypersensitivity-reduction-with-new-colgate-360-degree-sensitive-toothbrush>
110. Borsboom PC, ten Bosch JJ, Corba NH, Tromp JA. A simple constant-force pocket probe. *J Periodontol.* juill 1981;52(7):390-1.
111. Sethna. DrG. Comparison of reproductibility of measurements obtained by a 1st generation, 2nd generation and 3rd generation periodontal probe. *Int J Adv Res.* nov 2016;4(11):2418-26.
112. Den-Mat Holdings. Pro-DenRx® Sensor Probes- CP-12 [Internet]. 2022 [cité 30 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.denmat.com/pro-denrxr-sensor-probes-cp-12.html>
113. Renatus A, Trentzsch L, Schönfelder A, Schwarzenberger F, Jentsch H. Evaluation of an electronic periodontal probe versus a manual probe. *J Clin Diagn Res.* nov 2016;10(11):ZH03-7.
114. Ishihata K, Wakabayashi N, Wadachi J, Akizuki T, Izumi Y, Takakuda K, et al. Reproducibility of probing depth measurement by an experimental periodontal probe incorporating optical fiber sensor. *J Periodontol.* févr 2012;83(2):222-7.
115. Jeffcoat MK, Jeffcoat RL, Captain K. A periodontal probe with automated cemento--enamel junction detection-design and clinical trials. *IEEE Trans Biomed Eng.* avr 1991;38(4):330-3.
116. Birek P, McCulloch CA, Hardy V. Gingival attachment level measurements with an automated periodontal probe. *J Clin Periodontol.* sept 1987;14(8):472-7.
117. McCulloch CA, Birek P, Hardy V. Comparison of gingival attachment level measurements with an automated periodontal probe and a pressure-sensitive probe. *J Periodontal Res.* sept 1987;22(5):348-52.
118. Tessier JF, Ellen RP, Birek P, Kulkarni GV, McCulloch CA. Relationship between periodontal probing velocity and gingival inflammation in human subjects. *J Clin Periodontol.* janv 1993;20(1):41-8.
119. Tessier JF, Kulkarni GV, Ellen RP, McCulloch CA. Probing velocity: novel approach for assessment of inflamed periodontal attachment. *J Periodontol.* févr 1994;65(2):103-8.
120. Chapple IL. Periodontal disease diagnosis: current status and future developments. *J Dent.* janv 1997;25(1):3-15.
121. Goodson JM. Diagnosis of periodontitis by physical measurement: interpretation from episodic disease hypothesis. *J Periodontol.* avr 1992;63(4 Suppl):373-82.
122. Rams TE, Slots J. Comparison of two pressure-sensitive periodontal probes and a manual periodontal probe in shallow and deep pockets. *Int J Periodont Restor Dent.* déc

1993;13(6):520-9.

123. Gibbs CH, Hirschfeld JW, Lee JG, Low SB, Magnusson I, Thousand RR, et al. Description and clinical evaluation of a new computerized periodontal probe--the Florida probe. *J Clin Periodontol.* févr 1988;15(2):137-44.
124. Harrison PL, Stuhr S, Shaddox LM. The impact of a modified electronic probe tip design on patient perception of discomfort during periodontal probing using standardized probing force: a randomized controlled trial. *J Clin Periodontol.* août 2020;47(8):933-40.
125. Gupta N, Rath SK, Lohra P. Comparative evaluation of accuracy of periodontal probing depth and attachment levels using a Florida probe versus traditional probes. *Med J Armed Forces India.* oct 2015;71(4):352-8.
126. Deepa R, Prakash S. Accuracy of probing attachment levels using a new computerized cemento-enamel junction probe. *J Indian Soc Periodontol.* janv 2012;16(1):74-9.
127. Marks RG, Low SB, Taylor M, Baggs R, Magnusson I, Clark WB. Reproducibility of attachment level measurements with two models of the Florida Probe. *J Clin Periodontol.* nov 1991;18(10):780-4.
128. Preshaw PM, Kupp L, Hefti AF, Mariotti A. Measurement of clinical attachment levels using a constant-force periodontal probe modified to detect the cemento-enamel junction. *J Clin Periodontol.* juill 1999;26(7):434-40.
129. Karpinia K, Magnusson I, Gibbs C, Yang MCK. Accuracy of probing attachment levels using a CEJ probe versus traditional probes. *J Clin Periodontol.* mars 2004;31(3):173-6.
130. Quirynen M, Callens A, van Steenberghe D, Nys M. Clinical evaluation of a constant force electronic probe. *J Periodontol.* janv 1993;64(1):35-9.
131. Laugisch O, Ausschill TM, Heumann C, Sculean A, Arweiler NB. Clinical evaluation of a new electronic periodontal probe: a randomized controlled clinical trial. *Diagnostics.* déc 2021;12(1):42.
132. Schallhorn RA. Diagnosis and management of vertical bony defects in periodontal disease. *Gen Dent.* août 2012;60(4):290-7; quiz 298-9.
133. Zappa U, Grosso L, Simona C, Graf H, Case D. Clinical furcation diagnoses and interradicular bone defects. *J Periodontol.* 1993;64(3):219-27.
134. Eickholz P, Kim TS. Reproducibility and validity of the assessment of clinical furcation parameters as related to different probes. *J Periodontol.* mars 1998;69(3):328-36.
135. Kim TS, Knittel M, Staehle HJ, Eickholz P. The reproducibility and validity of furcation measurements using a pressure-calibrated probe. *J Clin Periodontol.* sept 1996;23(9):826-31.
136. Karthikeyan B, Sujatha V, Prabhuji M. Furcation measurements: realities and limitations. *J Int Acad Periodontol.* janv 2016;17:103-15.
137. Eickholz P. Reproducibility and validity of furcation measurements as related to class of furcation invasion. *J Periodontol.* nov 1995;66(11):984-9.

138. Müller HP, Eger T. Furcation diagnosis. *J Clin Periodontol.* 1999;26(8):485-98.
139. Eickholz P, Steinbrenner H, Lenhard M, Marquardt M, Holle R. Interexaminer reliability of the assessment of clinical furcation parameters as related to different probes. *Eur J Oral Sci.* févr 1999;107(1):2-8.
140. Janssen PT, Faber JA, van Palenstein Helderma WH. Non-Gaussian distribution of differences between duplicate probing depth measurements. *J Clin Periodontol.* juill 1987;14(6):345-9.
141. Abbas F, Hart AA, Oosting J, van der Velden U. Effect of training and probing force on the reproducibility of pocket depth measurements. *J Periodontal Res.* mars 1982;17(2):226-34.
142. Bastos Leite R. Analysis of dimensional standardization of periodonal probes: a comparative study. *J Dent Oral Health.* mai 2019;6:1-9.
143. Greenstein G. Current interpretations of periodontal probing evaluations: diagnostic and therapeutic implications. *Compend Contin Educ Dent.* juin 2005;26(6):381-2, 384, 387-390 passim; quiz 398-9.
144. Reddy MS, Palcanis KG, Geurs NC. A comparison of manual and controlled-force attachment-level measurements. *J Clin Periodontol.* déc 1997;24(12):920-6.
145. Silva-Boghossian CM, Amaral CSF, Maia LC, Luiz RR, Colombo APV. Manual and electronic probing of the periodontal attachment level in untreated periodontitis: a systematic review. *J Dent.* août 2008;36(8):651-7.
146. Simons P, Watts T. Validity of a hinged constant force probe and a similar, immobilised probe in untreated periodontal disease. *J Clin Periodontol.* nov 1987;14(10):581-7.
147. Grossi SG, Dunford RG, Ho A, Koch G, Machtei EE, Genco RJ. Sources of error for periodontal probing measurements. *J Periodont Res.* juill 1996;31(5):330-6.
148. Khan SM, Blanchard SB, Dowsett SA, Eckert GJ, Kowolik MJ. Periodontal assessment by right- and left-handed examiners: is there a difference? *J Periodontol.* 2006;77(7):1099-103.
149. Persson GR. Effects of line-angle versus midproximal periodontal probing measurements on prevalence estimates of periodontal disease. *J Periodont Res.* nov 1991;26(6):527-9.
150. Watts TL. Probing site configuration in patients with untreated periodontitis. A study of horizontal positional error. *J Clin Periodontol.* sept 1989;16(8):529-33.
151. Lafzi A, Mohammadi AS, Eskandari A, Pourkhamneh S. Assessment of intra- and inter-examiner reproducibility of probing depth measurements with a manual periodontal probe. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2007;1(1):19-25.
152. Breen HJ, Rogers PA, Slaney RE, Lawless HC, Austin JS, Gillett IR, et al. Option-4 algorithm for automated disc probe: reduction in the variance of site-specific relative attachment level measurements. *J Periodontol.* mai 1997;68(5):456-66.
153. Clark WB, Magnusson I, Namgung YY, Yang MC. The strategy and advantage in use

- of an electronic probe for attachment measurement. *Adv Dent Res.* août 1993;7(2):152-7.
154. Bissell V, McKerlie RA, Kinane DF, McHugh S. Teaching periodontal pocket charting to dental students: a comparison of computer assisted learning and traditional tutorials. *Br Dent J.* sept 2003;195(6):333-6; discussion 329.
 155. Thomas BSS, Alexander M, NurSulwana MH, Yap HYY. Computer-assisted learning vs. small group tutorials in periodontal charting: a randomized controlled trial in a Malaysian dental school. *J Orofac Sci.* 2019;11(2):100.
 156. Prabhu S, John V, Blanchard S, Eckert GJ, Hamada Y. Assessing effectiveness of an audiovisual educational tool for improving dental students' probing depth consistency. *J Dent Educ.* avr 2019;83(4):429-36.
 157. Heym R, Krause S, Hennessen T, Pitchika V, Ern C, Hickel R. A computer-assisted training approach for performing and charting periodontal examinations: a retrospective study. *J Dent Educ.* janv 2018;82(1):76-83.
 158. Sunaga M, Minabe M, Inagaki K, Kinoshita A. Effectiveness of a specially designed dental model for training, evaluation, and standardization of pocket probing. *J Dent Educ.* déc 2016;80(12):1430-9.
 159. Yamaguchi S, Yoshida Y, Noborio H, Murakami S, Imazato S. The usefulness of a haptic virtual reality simulator with repetitive training to teach caries removal and periodontal pocket probing skills. *Dent Mater J.* 2013;32(5):847-52.
 160. Drucker SD, Prieto LE, Kao DWK. Periodontal probing calibration in an academic setting. *J Dent Educ.* nov 2012;76(11):1466-73.
 161. Blackley SV, Huynh J, Wang L, Korach Z, Zhou L. Speech recognition for clinical documentation from 1990 to 2018: a systematic review. *J Am Med Inform Assoc.* avr 2019;26(4):324-38.
 162. Feldman CA, Stevens D. Pilot study on the feasibility of a computerized speech recognition charting system. *Community Dent Oral Epidemiol.* août 1990;18(4):213-5.
 163. Drevenstedt GL, McDonald JC, Drevenstedt LW. The role of voice-activated technology in today's dental practice. *J Am Dent Assoc.* févr 2005;136(2):157-61.
 164. UK Clark Dental. Voice Works Demonstration [Internet]. 2016 [cité 30 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=oAwPfelMxYs>
 165. Florida Probe Corporation. Computerized Perio Charting | GoProbe System [Internet]. [cité 29 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.floridaprobe.com/goprobe01.htm>
 166. Beckmer Products Inc. Dental R.A.T. Hands free perio charting [Internet]. [cité 29 mars 2022]. Disponible sur: <https://dentalrat.com/>
 167. Froum SJ, Wang WCW. Risks and benefits of probing around natural teeth and dental implants. *Compend Contin Educ Dent.* 1 janv 2018;39(1):20-5; quiz 26.
 168. Barnett ML, Baker RL, Olson JW. Material adherent to probes during a periodontal examination. Light and electron microscopic observations. *J Periodontol.* juill

1982;53(7):446-8.

169. Loesche WJ, Svanberg ML, Pape HR. Intraoral transmission of *Streptococcus mutans* by a dental explorer. *J Dent Res.* 1979;(58):1765-70.
170. Papaioannou W, Bollen CM, Van Eldere J, Quirynen M. The adherence of periodontopathogens to periodontal probes. A possible factor in intra-oral transmission? *J Periodontol.* nov 1996;67(11):1164-9.
171. Holt LA, Williams KB, Cobb CM, Keselyak NT, Jamison CL, Brand VS. Comparison of probes for microbial contamination following use in periodontal pockets of various depths. *J Periodontol.* mars 2004;75(3):353-9.
172. Christersson LA, Slots J, Zambon JJ, Genco RJ. Transmission and colonization of *Actinobacillus actinomycetemcomitans* in localized juvenile periodontitis patients. *J Periodontol.* 1985;56(3):127-31.
173. Murai S, Ito K, Goke E, Tsuji Y, Sano M, Yoshinuma N. The cleaning effects of disinfection on microorganisms adhering to a probe after examination of periodontal pockets. *J Nihon Univ Sch Dent.* déc 1985;27(4):247-51.
174. Daly CG, Mitchell DH, Highfield JE, Grossberg DE, Stewart D. Bacteremia due to periodontal probing: a clinical and microbiological investigation. *J Periodontol.* févr 2001;72(2):210-4.
175. Lesclous P. Prescription des antibiotiques en pratique bucco-dentaire - Recommandations Afssaps 2011. *Méd Buccale Chir Buccale.* nov 2011;17(4):334-46.
176. Daly C, Mitchell D, Grossberg D, Highfield J, Stewart D. Bacteraemia caused by periodontal probing. *Aust Dent J.* avr 1997;42(2):77-80.
177. Kinane DF, Riggio MP, Walker KF, MacKenzie D, Shearer B. Bacteraemia following periodontal procedures. *J Clin Periodontol.* 2005;32(7):708-13.
178. Heft MW, Perelmuter SH, Cooper BY, Magnusson I, Clark WB. Relationship between gingival inflammation and painfulness of periodontal probing. *J Clin Periodontol.* mars 1991;18(3):213-5.
179. Canakci V, Canakci CF. Pain levels in patients during periodontal probing and mechanical non-surgical therapy. *Clin Oral Investig.* déc 2007;11(4):377-83.
180. van Steenberghe D, Garmyn P, Geers L, Hendrickx E, Maréchal M, Huizar K, et al. Patients' experience of pain and discomfort during instrumentation in the diagnosis and non-surgical treatment of periodontitis. *J Periodontol.* nov 2004;75(11):1465-70.
181. Heins PJ, Karpinia KA, Maruniak JW, Moorhead JE, Gibbs CH. Pain threshold values during periodontal probing: assessment of maxillary incisor and molar sites. *J Periodontol.* juill 1998;69(7):812-8.
182. Chung DT, Bogle G, Bernardini M, Stephens D, Riggs ML, Egelberg JH. Pain experienced by patients during periodontal maintenance. *J Periodontol.* 2003;74(9):1293-301.
183. Miller CS, Dembo JB, Falace DA, Kaplan AL. Salivary cortisol response to dental

- treatment of varying stress. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1 avr 1995;79(4):436-41.
184. Heins PJ, Fuller WW, Fries SE. Periodontal probe use in general practice in Florida. *J Am Dent Assoc.* juill 1989;119(1):147-50.
 185. Al-Ajmix M, Bogle G, Cole R, Rathbun E, Riggs M, Egelberg J. Ability of examiners to estimate the pain experienced by patients from probing during initial periodontal examination. *J Periodontol.* juin 2005;76(6):985-90.
 186. Hassan MA, Bogle G, Quishenbery M, Stephens D, Riggs M, Egelberg J. Pain experienced by patients during periodontal recall examination using thinner versus thicker probes. *J Periodontol.* juin 2005;76(6):980-4.
 187. Kim YJ, Lundgren T, Abboud C, Gallez F, Park HJ, Bogle G, et al. A training program to improve the ability of periodontal residents to estimate patients' pain experience. *J Periodontol.* mars 2007;78(3):397-402.
 188. Prasad SSV, Kancharla AK, Perika SB, Deepthi PD, Nandigam AR, Tasneem MS, et al. Evaluation of pain on probing using anaesthetic gel in chronic periodontitis patients with true pressure sensitive probe: a placebo controlled trial. *J Clin Diagn Res.* 2018;12(11):ZC05-8.
 189. Wambier LM, de Geus JL, Chibinski ACR, Wambier DS, Rego RO, Loguercio AD, et al. Intra-pocket anaesthesia and pain during probing, scaling and root planing: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol.* sept 2016;43(9):754-66.
 190. Mayor-Subirana G, Yagüe-García J, Valmaseda-Castellón E, Arnabat-Domínguez J, Berini-Aytés L, Gay-Escoda C. Anesthetic efficacy of Oraqix® versus Hurracaine® and placebo for pain control during non-surgical periodontal treatment. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* mars 2014;19(2):e192-201.
 191. McFall WT, Bader JD, Rozier RG, Ramsey D. Presence of periodontal data in patient records of general practitioners. *J Periodontol.* juill 1988;59(7):445-9.
 192. Linden GJ, Stevenson M, Burke FJT. Variation in periodontal referral in 2 regions in the UK. *J Clin Periodontol.* 1999;26(9):590-5.
 193. Tugnait A, Clerehugh V, Hirschmann PN. Use of the basic periodontal examination and radiographs in the assessment of periodontal diseases in general dental practice. *J Dent.* janv 2004;32(1):17-25.
 194. Darby IB, Angkasa F, Duong C, Ho D, Legudi S, Pham K, et al. Factors influencing the diagnosis and treatment of periodontal disease by dental practitioners in Victoria. *Aust Dent J.* mars 2005;50(1):37-41.
 195. Ghiabi E, Weerasinghe S. The periodontal examination profile of general dentists in Nova Scotia, Canada. *J Periodontol.* janv 2011;82(1):33-40.
 196. Kong CH, Davis M, Fong K, Abbott PV. General dentists' use of diagnostic equipment and methods. *Aust Endod J.* 2017;43(2):66-72.
 197. Kraatz J, Hoang H, Ivanovski S, Ware RS, Crocombe LA. Periodontal diagnosis, treatment, and referral patterns of general dental practitioners. *J Investig Clin Dent.*

août 2019;10(3):e12411.

198. Bhandal S. An explorative study of the current practice and attitude towards the management of chronic periodontitis by general dental practitioners in the West Midlands. *Br Dent J.* avr 2020;228(7):537-45.
199. Le Port J. La prise en charge parodontale en omnipratique : analyse dans les cabinets dentaires [Thèse d'exercice] [Internet]. [France]: Université de Nantes. Unité de Formation et de Recherche d'Odontologie; 2020 [cité 29 avr 2022]. Disponible sur: <http://archive.bu.univ-nantes.fr/pollux/show.action?id=625691c4-7c27-424a-8d4a-15775276b8d5>
200. König J, Holtfreter B, Kocher T. Periodontal health in Europe: future trends based on treatment needs and the provision of periodontal services--position paper 1. *Eur J Dent Educ.* mai 2010;14 (Suppl 1):4-24.
201. American Dental Hygienists' Association. Standards for clinical dental hygiene practice [Internet]. 2016 [cité 29 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.adha.org/resources-docs/2016-Revised-Standards-for-Clinical-Dental-Hygiene-Practice.pdf>
202. Walter C, Schmidt JC, Rinne CA, Mendes S, Dula K, Sculean A. Cone beam computed tomography (CBCT) for diagnosis and treatment planning in periodontology: systematic review update. *Clin Oral Investig.* sept 2020;24(9):2943-58.
203. Assiri H, Dawasaz AA, Alahmari A, Asiri Z. Cone beam computed tomography (CBCT) in periodontal diseases: a systematic review based on the efficacy model. *BMC Oral Health.* juill 2020;20(1):191.
204. Srebrzyńska-Witek A, Koszowski R, Różyło-Kalinowska I, Piskórz M. CBCT for estimation of the cemento-enamel junction and crestal bone of anterior teeth. *Open Med Wars Pol.* 2020;15(1):774-81.
205. Amid R, Mirakhori M, Safi Y, Kadkhodazadeh M, Namdari M. Assessment of gingival biotype and facial hard/soft tissue dimensions in the maxillary anterior teeth region using cone beam computed tomography. *Arch Oral Biol.* juill 2017;79:1-6.
206. Gürlek Ö, Sönmez Ş, Güneri P, Nizam N. A novel soft tissue thickness measuring method using cone beam computed tomography. *J Esthet Restor Dent.* nov 2018;30(6):516-22.
207. Weidmann B, Sahrman P, Bindl A, Roos M, Schmidlin PR. Depth determination of artificial periodontal pockets using cone-beam tomography and radio-opaque material: an in vitro feasibility study. *Swiss Dent J.* 2014;124(4):406-15.
208. Elashiry M, Meghil MM, Kalathingal S, Buchanan A, Rajendran M, Elrefai R, et al. Development of radiopaque, biocompatible, antimicrobial, micro-particle fillers for micro-CT imaging of simulated periodontal pockets. *Dent Mater.* avr 2018;34(4):569-78.
209. Velea O, Sinescu C, Corneliu Z, Paul, Cornel F, Velea, et al. Evaluation of periodontal pockets using different biomaterials : a preliminary study. *Rev Chim.* sept 2014;65:1063-6.

210. Elashiry M, Meghil MM, Kalathingal S, Buchanan A, Elrefai R, Looney S, et al. Application of radiopaque micro-particle fillers for 3-D imaging of periodontal pocket analogues using cone beam CT. *Dent Mater.* avr 2018;34(4):619-28.
211. Kripal K, Dileep A. Role of radiographic evolution: an aid to diagnose periodontal disease. In: Yussif N, éditeur. *Periodontal disease - Diagnostic and adjunctive non-surgical considerations*. London: IntechOpen; 2020. p. 1-17.
212. Hinders MK. Clinical tests of an ultrasonic periodontal probe. In: *AIP Conference Proceedings* [Internet]. Brunswick, Maine (USA): AIP; 2002 [cité 15 déc 2021]. p. 1880-7. Disponible sur: https://web.archive.org/web/20170811161820id_/http://www.perioimaging.com/_Files/5623c9ca-34d1-4153-aa6f-932b92b07f20/Articles/ARTICLE-%203-%20QNDE01.pdf
213. Agrawal P, Sanikop S, Patil S. New developments in tools for periodontal diagnosis. *Int Dent J.* avr 2012;62(2):57-64.
214. Lynch JE, Hinders MK, McCombs GB. Clinical comparison of an ultrasonographic periodontal probe to manual and controlled-force probing. *Measurement.* juin 2006;39(5):429-39.
215. Rudd K, Bertoncini C, Hinders M. Simulations of ultrasonographic periodontal probe using the finite integration technique. *Open Acoust J.* févr 2009;2(1):1-19.
216. Hinders MK. *Intelligent feature selection for machine learning using the dynamic wavelet fingerprint*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2020. 353 p.
217. Chifor R, Badea AF, Chifor I, Mitrea DA, Crisan M, Badea ME. Periodontal evaluation using a non-invasive imaging method (ultrasonography). *Med Pharm Rep.* déc 2019;92(Suppl 3):S20-32.
218. Zimbran A, Dudea D, Gasparik C, Dudea S. Ultrasonographic evaluation of periodontal changes during orthodontic tooth movement - work in progress. *Clujul Med* 1957. 2017;90(1):93-8.
219. Zimbran A, Dudea S, Dudea D. Evaluation of periodontal tissues using 40MHz ultrasonography. preliminary report. *Med Ultrason.* mars 2013;15(1):6-9.
220. Chifor R, Badea ME, Mitrea DA, Badea IC, Crisan M, Chifor I, et al. Computer-assisted identification of the gingival sulcus and periodontal epithelial junction on high-frequency ultrasound images. *Med Ultrason.* sept 2015;17(3):273-9.
221. Nguyen KCT, Le BM, Li M, Almeida FT, Major PW, Kaipatur NR, et al. Localization of cemento-enamel junction in intraoral ultrasonographs with machine learning. *J Dent.* sept 2021;112:103752.
222. Tattan M, Sinjab K, Lee E, Arnett M, Oh TJ, Wang HL, et al. Ultrasonography for chairside evaluation of periodontal structures: a pilot study. *J Periodontol.* juill 2020;91(7):890-9.
223. Shakibaie F, Walsh L. Optical diagnostics to improve periodontal diagnosis and treatment. In: Manakil J, éditeur. *Periodontology and dental implantology* [Internet]. London: IntechOpen; 2019:1-14 [cité 8 déc 2021]. Disponible sur: <https://www.intechopen.com/books/periodontology-and-dental-implantology/optical->

224. Le NM, Song S, Zhou H, Xu J, Li Y, Sung CE, et al. A noninvasive imaging and measurement using optical coherence tomography angiography for the assessment of gingiva: an in vivo study. *J Biophotonics*. déc 2018;11(12):e201800242.
225. Fernandes LO, Mota CCB de O, Oliveira HO, Neves JK, Santiago LM, Gomes ASL. Optical coherence tomography follow-up of patients treated from periodontal disease. *J Biophotonics*. févr 2019;12(2):e201800209.
226. Fernandes LO, Mota CCBO, de Melo LSA, da Costa Soares MUS, da Silva Feitosa D, Gomes ASL. In vivo assessment of periodontal structures and measurement of gingival sulcus with Optical Coherence Tomography: a pilot study. *J Biophotonics*. juin 2017;10(6-7):862-9.
227. Park JY, Chung JH, Lee JS, Kim HJ, Choi SH, Jung UW. Comparisons of the diagnostic accuracies of optical coherence tomography, micro-computed tomography, and histology in periodontal disease: an ex vivo study. *J Periodontal Implant Sci*. févr 2017;47(1):30-40.
228. Tsai MT, Chen Y, Lee CY, Huang BH, Trung NH, Lee YJ, et al. Noninvasive structural and microvascular anatomy of oral mucosae using handheld optical coherence tomography. *Biomed Opt Express*. nov 2017;8(11):5001-12.
229. Le N, Cheng H, Subhash H, Kilpatrick-Liverman L, Wang RK. Gingivitis resolution followed by optical coherence tomography and fluorescence imaging: a case study. *J Biophotonics*. 2021;14(12):e202100191.
230. Townsend D, D'Aiuto F, Deanfield J. Preliminary study of video imaging of blood vessels in tissues lining the gingival sulcus in periodontally healthy individuals. *J Periodont Res*. déc 2013;49:670-9.
231. Townsend D, D'Aiuto F. Periodontal capillary imaging in vivo by endoscopic capillaroscopy. *J Med Biol Eng*. avr 2010;30:119-23.
232. Liu KZ, Xiang XM, Man A, Sowa MG, Cholakis A, Ghiabi E, et al. In vivo determination of multiple indices of periodontal inflammation by optical spectroscopy. *J Periodont Res*. févr 2009;44(1):117-24.
233. Duarte PM, Sowa MG, Xiang X, Zhang C, Santos VR, Miranda TS, et al. Assessment of the hemodynamic profile in periodontal tissues of diabetic subjects with periodontitis by optical spectroscopy. *J Periodont Res*. 2015;50(5):594-601.
234. Ge Z, Liu KZ, Xiang X, Yang Q, Hui J, Kohlenberg E, et al. Assessment of local hemodynamics in periodontal inflammation using optical spectroscopy. *J Periodontol*. 2011;82(8):1161-8.
235. Liu KZ, Duarte PM, Santos VR, Xiang X, Xu M, Miranda TS, et al. Assessment of tissue oxygenation of periodontal inflammation in smokers using optical spectroscopy. *J Clin Periodontol*. 2014;41(4):340-7.
236. Zhang C, Xiang X, Xu M, Fan C, Sowa MG, Liu KZ. Assessment of tissue oxygenation of periodontal inflammation in patients with coronary artery diseases using optical spectroscopy. *BMC Oral Health*. mars 2014;14:25.

237. Xiang X, Sowa MG, Iacopino AM, Maev RG, Hewko MD, Man A, et al. An update on novel non-invasive approaches for periodontal diagnosis. *J Periodontol.* févr 2010;81(2):186-98.
238. Xia J, Yao J, Wang LV. Photoacoustic tomography: principles and advances. *Electromagn Waves Camb Mass.* 2014;147:1-22.
239. Moore C, Jokerst JV. Strategies for image-guided therapy, surgery, and drug delivery using photoacoustic imaging. *Theranostics.* 2019;9(6):1550-71.
240. Lin CY, Chen F, Hariri A, Chen CJ, Wilder-Smith P, Takesh T, et al. Photoacoustic maging for noninvasive periodontal probing depth measurements. *J Dent Res.* janv 2018;97(1):23-30.
241. Moore C, Bai Y, Hariri A, Sanchez JB, Lin CY, Koka S, et al. Photoacoustic imaging for monitoring periodontal health: a first human study. *Photoacoustics.* déc 2018;12:67-74.
242. Mozaffarzadeh M, Moore C, Golmoghani EB, Mantri Y, Hariri A, Jorns A, et al. Motion-compensated noninvasive periodontal health monitoring using handheld and motor-based photoacoustic-ultrasound imaging systems. *Biomed Opt Express.* mars 2021;12(3):1543-58.
243. Fu L, Ling C, Jin Z, Luo J, Palma-Chavez J, Wu Z, et al. A more compact photoacoustic imaging system to detect periodontitis [Internet]. *Dentistry and Oral Medicine*; 2021 nov [cité 15 déc 2021]. Disponible sur: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2021.11.02.21265776>
244. Demirturk Kocasarac H, Geha H, Gaalaas LR, Nixdorf DR. MRI for dental applications. *Dent Clin North Am.* juill 2018;62(3):467-80.
245. Niraj LK, Patthi B, Singla A, Gupta R, Ali I, Dhama K, et al. MRI in dentistry : a future towards radiation free imaging. Systematic review. *J Clin Diagn Res.* oct 2016;10(10):ZE14-9.
246. Algarín JM, Díaz-Caballero E, Borreguero J, Galve F, Grau-Ruiz D, Rigla JP, et al. Simultaneous imaging of hard and soft biological tissues in a low-field dental MRI scanner. *Sci Rep.* déc 2020;10(1):21470.
247. Assaf AT, Zrnc TA, Remus CC, Schönfeld M, Habermann CR, Riecke B, et al. Evaluation of four different optimized magnetic-resonance-imaging sequences for visualization of dental and maxillo-mandibular structures at 3 T. *J Cranio-Maxillofac Surg.* oct 2014;42(7):1356-63.
248. Ludwig U, Eisenbeiss AK, Scheifele C, Nelson K, Bock M, Hennig J, et al. Dental MRI using wireless intraoral coils. *Sci Rep.* mars 2016;6(1):23301.
249. Prager M, Heiland S, Gareis D, Hilgenfeld T, Bendszus M, Gaudino C. Dental MRI using a dedicated RF-coil at 3 Tesla. *J Craniomaxillofac Surg.* déc 2015;43(10):2175-82.
250. Juerchott A, Sohani M, Schwindling FS, Jende JME, Kurz FT, Rammelsberg P, et al. In vivo accuracy of dental magnetic resonance imaging in assessing maxillary molar furcation involvement: a feasibility study in humans. *J Clin Periodontol.* juill

2020;47(7):809-15.

251. Juerchott A, Sohani M, Schwindling FS, Jende JME, Kurz FT, Rammelsberg P, et al. Comparison of non-contrast-enhanced dental magnetic resonance imaging and cone-beam computed tomography in assessing the horizontal and vertical components of furcation defects in maxillary molars: an in vivo feasibility study. *J Clin Periodontol.* déc 2020;47(12):1485-95.
252. Ruetters M, Juerchott A, El Sayed N, Heiland S, Bendszus M, Kim TS. Dental magnetic resonance imaging for periodontal indication - a new approach of imaging residual periodontal bone support. *Acta Odontol Scand.* janv 2019;77(1):49-54.
253. Schara R, Sersa I, Skaleric U. T1 relaxation time and magnetic resonance imaging of inflamed gingival tissue. *Dento Maxillo Facial Radiol.* mai 2009;38(4):216-23.
254. Newbould RD, Bishop CA, Janiczek RL, Parkinson C, Hughes FJ. T2 relaxation mapping MRI of healthy and inflamed gingival tissue. *Dento Maxillo Facial Radiol.* févr 2017;46(2):20160295.
255. Probst M, Burian E, Robl T, Weidlich D, Karampinos D, Brunner T, et al. Magnetic resonance imaging as a diagnostic tool for periodontal disease: a prospective study with correlation to standard clinical findings-Is there added value? *J Clin Periodontol.* juill 2021;48(7):929-48.
256. Kuralt M, Gašperšič R, Fidler A. 3D computer-aided treatment planning in periodontology: a novel approach for evaluation and visualization of soft tissue thickness. *J Esthet Restor Dent.* juill 2020;32(5):457-62.

TABLES DES FIGURES

Figure 1. Photographie des incisives supérieures et de leur parodonte superficiel (2).....	- 16 -
Figure 2. Le parodonte profond et le système d'attache (1).....	- 17 -
Figure 3. Au microscope optique, on remarque que l'épithélium de jonction (JE) adhère à l'émail (ES) tandis que l'épithélium de poche (PE) est séparé du biofilm couvrant la dent (BF) par l'espace de la poche (PS) (10).	- 19 -
Figure 4. Expansion du sulcus gingival (à gauche) en poche parodontale (à droite) (11).	- 19 -
Figure 5. Dessin des différents types de poche parodontale (11).....	- 20 -
Figure 6. Au fond d'une poche parodontale, on trouve (11) :	- 20 -
Figure 7. L'indice gingival modifié (25).....	- 23 -
Figure 8. Sondage d'une poche parodontale vestibulaire (31).....	- 24 -
Figure 9. Deux sondes de diamètre différents insérées dans le sillon à la même force ne s'enfoncent pas autant et ne donnent pas les mêmes valeurs de profondeurs de sondage (35).	- 25 -
Figure 10. Schéma des forces relatives à l'insertion d'une sonde dans le sillon gingival (34).....	- 25 -
Figure 11. A pression constante (11) :	- 26 -
Figure 12. La mesure de la perte d'attache selon le niveau du bord gingival (43).....	- 28 -
Figure 13. La même profondeur de poche avec différentes valeurs de récession (11).....	- 29 -
Figure 14. Différentes profondeurs de poche avec le même niveau de perte d'attache clinique (11).....	- 29 -
Figure 15. Insertion d'une sonde parodontale dans un sillon gingival provoquant un saignement (52).	- 30 -
Figure 16. Classification des lésions interradiculaires selon Hamp (54).....	- 31 -
Figure 17. Exemple de status parodontal complet (61) :	- 32 -
Figure 18. Radiographie rétroalvéolaire du secteur molaire maxillaire droit (64).	- 33 -
Figure 19. Radiographie rétroalvéolaire centrée sur 23 (65).	- 33 -
Figure 20. Division de la bouche en sextants et dents évaluées (avec une étoile) (74).	- 34 -
Figure 21. Exemple de relevé du CPITN. Ici le patient aurait besoin d'un détartrage global, de la suppression des obturations débordantes, d'un enseignement de l'hygiène bucco-dentaire et d'un traitement complexe sur le troisième sextant. Source : auteur.....	- 35 -
Figure 22. Exemple d'un type de charte parodontale complète saisie sur https://www.periodontalchart-online.com/fr/ (88).....	- 40 -
Figure 23. a) Défaut osseux angulaire sur la face mésiale de la dent 47; b) exsudat purulent au sondage de la poche parodontale profonde sur la même dent (92).	- 46 -
Figure 24. Sondage parodontal le long du sillon gingival d'une 43 (93) :	- 47 -
Figure 25. A gauche, un embout aux parois droites. Au milieu, un embout fuselé. A droite, un embout à l'extrémité sphérique. Les graduations sont aussi différents entre les embouts (98).	- 49 -
Figure 26. La True Pressure Sensitive Probe de Vivacare © (100,105).....	- 51 -
Figure 27. La sonde à pression constante Yeaple (108,109).....	- 52 -
Figure 28. Le fonctionnement de la sonde Brodonic (36,110).....	- 52 -
Figure 29. La Pro-DenRx© Sensor Probe avec des graduations à 2-3-4-5-7-9 mm en action au niveau du site mésio-vestibulaire d'une 16 (111,112).	- 53 -
Figure 30. Schéma de la pointe de la sonde Foster-Miller remontant le long de la dent (20).	- 54 -
Figure 31. A gauche, la pointe de la sonde Interprobe est insérée en site mésio-vestibulaire de 14 (122). A droite, le stent est placé au niveau de la gencive marginale ; la pointe rentre dans le stent.	- 55 -
Figure 32. A gauche, la pointe graduée avec une extrémité plate de diamètre 0,45mm. A droite, la pointe graduée de diamètre 0,45 mm avec une extrémité sphérique de 0,6 mm de diamètre (124).	- 56 -
Figure 33. A gauche, la pointe de la sonde est insérée au niveau du site mésio-vestibulaire de 14. A droite, le stent est placé au niveau de la gencive marginale. L'opérateur déclenche alors la mesure avec la pédale (122)...	- 56 -
Figure 34. La Florida Disk Probe mesurant le niveau d'attache relatif à la surface occlusale (127).	- 57 -
Figure 35. Dessin de la CEJ probe et du rebord de stent à placer au niveau de la JAC (129).....	- 57 -
Figure 36. Mesure de la perte d'attache clinique avec la CEJ Probe (126).	- 58 -
Figure 37. La sonde Peri-Probe formée d'une pièce à main reliée à une unité informatique/imprimante (130). - 58 -	- 58 -
Figure 38. La sonde modifiée d'Ishihata (114):	- 59 -

Figure 39. A gauche, la sonde PA-ON sur son support (131). A droite le charting rempli automatiquement sur le logiciel dédié. En bas à droite, l'embout jetable.....	- 59 -
Figure 40. Les types de sondes de furcation (136).	- 60 -
Figure 41. Dessin de l'insertion d'une sonde de Nabers en coupe transversale (137).....	- 60 -
Figure 42. Une angulation pas assez importante (en haut) ou trop importante (en bas) de l'axe d'insertion de la sonde par rapport à la surface de la dent peut mener à des mesures de profondeur de sondage erronées. La sonde doit être parallèle à la surface de la dent (au milieu) (95).	- 63 -
Figure 43. Exemple de modèle utilisé pour l'enseignement et la calibration du sondage (158).	- 65 -
Figure 44. Photographie d'un dispositif utilisant une pièce à main avec retour haptique et une modélisation de l'action de la sonde au niveau du sillon gingivodentaire afin d'enseigner le sondage parodontal (159). (Workstation : ordinateur, haptic device : dispositif avec retour haptique, finger rest : point d'appui pour le doigt).....	- 65 -
Figure 45. Capture d'écran d'une vidéo montrant l'utilisation du système VoiceWorks® lors du charting parodontal à l'aide d'une sonde conventionnelle (164).	- 67 -
Figure 46. Le clavier sans fil GoProbe (165).	- 67 -
Figure 47. La pédale Dental R.A.T. (166).....	- 68 -
Figure 48. Microscopie électronique à balayage de dépôts cellulaires et bactériens après l'insertion d'une sonde dans une poche de 4 à 6 mm (171).	- 69 -
Figure 49. Application d'Oraqix® dans une poche parodontale (190).	- 72 -
Figure 50. Application de l'agent de contraste à base de tungstate de calcium dans les poches approfondies d'une mâchoire de porc (210).	- 78 -
Figure 51. Mesure informatique de la profondeur de poche à l'aide de l'agent de contraste sur une coupe du CBCT (210).....	- 78 -
Figure 52. Modèles 3D de la poche (en rouge) autour de la dent (en vert) et de l'os (en rouge) (210).....	- 79 -
Figure 53. La U.S. Probe® et son fonctionnement (215).....	- 80 -
Figure 54. Acquisition d'échographie dentaire en transcutané (218).	- 80 -
Figure 55. En haut, image issue d'une échographie à 40 MHz d'une dent et de son parodonte d'un sujet sain in vivo. En bas, dessin anatomique de l'image (219).	- 81 -
Figure 56. Modélisation du sulcus sur une image d'échographie (217).	- 82 -
Figure 57. Acquisition par OCT du parodonte du bloc incisivo-canin maxillaire (224).	- 83 -
Figure 58. Images de la région parodontale d'incisives mandibulaires chez un patient sain (A) et atteint de parodontite (B) (225):.....	- 83 -
Figure 59. Angiogramme par OCT (OCT-A) colorisé en fonction de la profondeur des tissus gingivaux vestibulaires de 21 (K) et 22 (L) (224).	- 84 -
Figure 60. La fibre optique est insérée dans le sillon gingival et une lumière verte (520 nm) illumine la dent et la gencive (231).....	- 85 -
Figure 61. Images obtenues par capillaroscopie endoscopique (231).....	- 85 -
Figure 62. Spectre de référence de l'absorption de l'infrarouge proche (500-1000 nm) par l'eau, l'hémoglobine désoxygénée (Hb) et l'hémoglobine oxygénée (HbO2) (232).	- 86 -
Figure 63. Spectres moyens des sites sains, atteints de gingivite et atteints de parodontite (232).	- 86 -
Figure 64. La sonde par spectroscopie dans l'infrarouge proche, composée d'une source d'infrarouges et d'un spectromètre, reliés à un ordinateur (234).	- 87 -
Figure 65. Schéma explicatif du fonctionnement de l'imagerie photoacoustique (239).	- 88 -
Figure 66. Tâches (en bleu) et agent de contraste (en rouge) présents autour d'une dent de porc ex vivo (240). ...	- 88 -
Figure 67. Profondeurs de poches mesurées via l'imagerie photoacoustique sur une mâchoire de porc ex vivo (240).	- 89 -
Figure 68. (D) Coupe sagittale au niveau de la dent 25 sur une image photoacoustique (241).	- 89 -
Figure 69. Un moteur émet des vibrations pendant l'acquisition de force croissante de (a) à (d) (242).....	- 90 -
Figure 70. (d) et (e) L'acquisition du parodonte et de la poche parodontale avec un transducteur courbée en forme de « crosse de hockey » (243).	- 90 -
Figure 71. Bobine positionnée pour examen IRM in vivo (249) :	- 91 -
Figure 72. Image d'un maxillaire au CBCT (en haut) et à l'IRM (en bas), l'appréciation des défauts osseux est possible avec les deux techniques (251).	- 92 -
Figure 73. Images par résonance magnétiques avant (en haut) et 3 mois après la thérapeutique non-chirurgicale (en bas) (253).	- 93 -
Figure 74. Images issues de différentes séquences d'IRM (255).	- 94 -

TABLE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1. Tableau des pressions s'exerçant au niveau de la pointe de la sonde en fonction de la force transmise par l'opérateur et du diamètre de la pointe de la sonde en N/mm² (multiplier par 100 pour obtenir des N/cm²).</i>	
<i>Source : Auteur.....</i>	<i>- 27 -</i>
<i>Tableau 2. Les codes du CPITN (72).</i>	<i>- 35 -</i>
<i>Tableau 3. Les besoins en traitement du CPITN (72).</i>	<i>- 35 -</i>
<i>Tableau 4. Les codes de perte d'attache clinique dans le CPI (80).....</i>	<i>- 37 -</i>
<i>Tableau 5. Les scores et besoins en traitement associés du DPSI d'après Meers et al. (81).....</i>	<i>- 37 -</i>
<i>Tableau 6. Classification du Workshop de Chicago 2017 des conditions et pathologies parodontales (89).</i>	<i>- 41 -</i>
<i>Tableau 7. Stades de la parodontite d'après Papapanou et al. (47).....</i>	<i>- 44 -</i>
<i>Tableau 8. Grades de la parodontite d'après Papapanou et al. (47).....</i>	<i>- 45 -</i>
<i>Tableau 9. Classification des lésions endo-parodontales selon Papapanou et al. 2018 (47).....</i>	<i>- 47 -</i>
<i>Tableau 10. Différents modèles de sondes parodontales selon (34,42,45,101). Images tirées de (104–107)...</i>	<i>- 50 -</i>

LISTE DES ABREVIATIONS

JAC ou CEJ : jonction amélocémentaire ou *cemento-enamel junction*

LAD : ligament alvéolodentaire

SIDA : Syndrome d'Immuno-Déficienc e Acquis e

PD : *Pocket Depth* ou profondeur de poche

PPD : *Pocket Probing Depth* ou profondeur de poche au sondage

CAL : *Clinical Attachment Loss* ou perte d'attache clinique

BOP : *Bleeding On Probing* ou saignement au sondage

CPITN : *Community Periodontal Index of Treatment Needs* ou Indice communautaire des besoins en traitements parodontaux

BPE : *Basic Periodontal Examination* ou Examen parodontal basique

PSR : *Periodontal Screening and Recording index* ou Indice de dépistage et d'enregistrement parodontal

CPI : *Community Periodontal Index* ou Indice parodontal communautaire

DPSI : *Dutch Periodontal Screening Index* ou Indice de dépistage parodontal néerlandais

WHO ou OMS : *World Health Organization* ou Organisation Mondiale de la Santé

EHBD : Enseignement de l'Hygiène Bucco-Dentaire

BSP : *British Society of Periodontology* ou Société britannique de parodontologie

Sonde TPS : Sonde *True Pressure Sensitive*

RAL : *Relative attachment level* ou niveau d'attache relatif

ISO : *International Standardization Organization* ou Organisation internationale de normalisation

CBCT : *Cone Beam Computed Tomography* ou imagerie volumétrique par faisceau conique

OCT : *Optical Coherence Tomography* ou tomographie par cohérence optique

NIRS : *Near InfraRed Spectroscopy* ou Spectroscopie dans l'infrarouge proche

IRM : Imagerie par Résonance Nucléaire

DOAN (Paul). - Le sondage dans le diagnostic parodontal : le point en 2022 et alternatives par techniques d'imagerie. - 118 f ; ill. ; tabl ; 256 ref ; 30 cm (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2022)

RESUME

Le sondage parodontal est actuellement la technique de référence servant au diagnostic des maladies parodontales. Les sondes parodontales ont connu de nombreuses évolutions depuis leurs premières descriptions afin de gagner en fiabilité et en reproductibilité dans l'évaluation de la perte d'attache et de l'état inflammatoire du parodonte.

Dans cette optique d'amélioration du diagnostic parodontal, certaines techniques d'imagerie ont récemment montré le potentiel pour devenir une alternative fonctionnelle au sondage.

Cette analyse de littérature scientifique étudie les différents aspects du sondage parodontal et met en lumière ses limites, avant d'explorer les perspectives d'imagerie du parodonte.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Parodontologie

MOTS CLES MESH :

Diagnostic – Diagnosis

Parodontie – Periodontics

Indice parodontal – Periodontal Index

Imagerie diagnostique – Diagnostic Imaging

JURY :

Président : Professeur Assem SOUEIDAN

Assesseur : Docteur Emmanuelle RENARD

Assesseur : Docteur Fabienne JORDANA

Directeur : Professeur Assem SOUEIDAN

Co-directeur : Docteur Charles ALLIOT