



HAL
open science

Optimisation de la prise en charge des lésions carieuses profondes

Marie-Agnès Gasqui

► **To cite this version:**

Marie-Agnès Gasqui. Optimisation de la prise en charge des lésions carieuses profondes. Biomatériaux. Université de Lyon, 2021. Français. NNT : 2021LYSE1216 . tel-03665141

HAL Id: tel-03665141

<https://theses.hal.science/tel-03665141v1>

Submitted on 11 May 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



N° d'ordre : 2021LYSE1216

THÈSE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON
opérée au sein de

l'Université Claude Bernard Lyon 1

École Doctorale Interdisciplinaire Sciences Santé EDISS 205

Spécialité de doctorat : Biomatériaux

Soutenue publiquement le 22/10/2021, par :
Marie-Agnès Gasqui De Saint Joachim

**Optimisation de la prise en charge
des lésions carieuses profondes**

Devant le jury composé de :

MAUCORT-BOULCH Delphine
HAIKEL Youssef
BRULAT-BOUCHARD Nathalie
DECUP Franck
MAURIN Jean-Christophe
GROSGOGEAT Brigitte
PERARD Matthieu

PU-PH Université de Lyon
PU-PH Université de Strasbourg
PU-PH Université de Nice Sophia Antipolis
MCU-PH Université de Paris Descartes
PU-PH Université de Lyon
PU-PH Université de Lyon
MCU-PH Université de Rennes

Présidente
Rapporteur
Rapporteuse
Examineur
Examineur
Directrice de thèse
Co-directeur de thèse

SEUX Dominique
VILLAT Cyril
MILLIOZ Fabien

PU-PH Université de Lyon
PU-PH Université de Lyon
MCU Université de Lyon

Invitée
Invité
Invité

Université Claude Bernard – LYON 1

Président de l'Université	M. Frédéric FLEURY
Président du Conseil Académique	M. Hamda BEN HADID
Vice-Président du Conseil d'Administration	M. Didier REVEL
Vice-Président du Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire	M. Philippe CHEVALLIER
Vice-Président de la Commission de Recherche	M. Petru MIRONESCU
Directeur Général des Services	M. Pierre ROLLAND

COMPOSANTES SANTE

Département de Formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine	Directrice : Mme Anne-Marie SCHOTT
Faculté d'Odontologie	Doyenne : Mme Dominique SEUX
Faculté de Médecine et Maïeutique Lyon Sud - Charles Mérieux	Doyenne : Mme Carole BURILLON
Faculté de Médecine Lyon-Est	Doyen : M. Gilles RODE
Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation (ISTR)	Directeur : M. Xavier PERROT
Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques (ISBP)	Directrice : Mme Christine VINCIGUERRA

COMPOSANTES & DEPARTEMENTS DE SCIENCES & TECHNOLOGIE

Département Génie Electrique et des Procédés (GEP)	Directrice : Mme Rosaria FERRIGNO
Département Informatique	Directeur : M. Behzad SHARIAT
Département Mécanique	Directeur M. Marc BUFFAT
Ecole Supérieure de Chimie, Physique, Electronique (CPE Lyon)	Directeur : Gérard PIGNAULT
Institut de Science Financière et d'Assurances (ISFA)	Directeur : M. Nicolas LEBOISNE
Institut National du Professorat et de l'Education	Administrateur Provisoire : M. Pierre CHAREYRON
Institut Universitaire de Technologie de Lyon 1	Directeur : M. Christophe VITON
Observatoire de Lyon	Directrice : Mme Isabelle DANIEL
Polytechnique Lyon	Directeur : Emmanuel PERRIN
UFR Biosciences	Administratrice provisoire : Mme Kathrin GIESELER
UFR des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)	Directeur : M. Yannick VANPOULLE
UFR Faculté des Sciences	Directeur : M. Bruno ANDRIOLETTI

Remerciements

Professeur Youssef Haikel, merci d'avoir accepté d'être rapporteur, merci pour votre rapport qui a bien souligné ce sur ce quoi ont porté mes efforts de recherche. Merci d'accepter de me ré-écouter une deuxième fois dans l'année, j'espère que je serai plus convaincante que la première fois. Au plaisir de vous rencontrer.

Professeur Nathalie Brulat-Bouchard, merci d'avoir rendu un rapport aussi favorable et d'avoir tenu des délais serrés, j'espère que cette soutenance sera à la hauteur de vos attentes. Au plaisir de vous rencontrer.

Franck Decup, merci d'aller à l'essentiel dans les articles, cela permet de garder le fil conducteur et les idées claires. Merci pour ces tutoriels personnalisés au sein de votre cabinet.

Pr Delphine Maucort-Boulch, merci pour cette collaboration et de m'avoir permis d'obtenir ma première publication à vos côtés. Merci de m'avoir motivée et encouragée à soutenir ma thèse avant le congé maternité.

Pr Jean-Christophe Maurin, merci d'avoir accepté d'être membre de mon jury, j'espère que vous trouverez dans ce travail le reflet de ma motivation pour rejoindre l'équipe. Au-delà de ça, merci pour votre sympathie et amitié.

Pr Brigitte Grosogeat, merci pour votre coaching hors pair, votre réactivité exceptionnelle, et merci d'avoir corrigé ma thèse pendant vos vacances pour tenir les délais. Merci pour votre clairvoyance et de m'avoir conseillée tout au long de mon parcours. J'admire votre implication et votre motivation pour mener à bien tous vos projets recherche. Vous êtes une vraie leader.

Matthieu Pérard, un co-directeur exceptionnel, se rendant ultra-disponible malgré ses nombreuses obligations. Merci d'avoir pris de votre temps personnel pour m'aider à soutenir dans le délai imparti. Je dois avouer que je suis admirative de vos tournures de phrases : en un clin d'œil vous apposez les mots justes sur une idée. Vous m'avez vu grandir au cours de ces 4 années et grâce à vous, je ne me noie plus dans un verre d'eau. J'admire aussi votre passion pour la clinique -merci de me l'avoir fait vivre pendant une journée à Rennes, votre passion pour transmettre aux étudiants et votre motivation pour la recherche.

Professeur Dominique Seux, merci de m'avoir désignée et fait confiance pour le projet du Cneoc que vous portiez. Merci pour votre persévérance à toute épreuve : heureusement que vous étiez là lors de la saisie des questionnaires pour nous faire garder le timing et le moral. Je ne sais pas si beaucoup de doyennes ont fait comme vous de la saisie excel de questionnaires !! Je garde un bon souvenir de nos réunions en trio avec Laurent, cela m'a permis de découvrir un professeur à l'écoute de mes questions, avide de nouvelles connaissances et se mettant au même niveau que la doctorante que j'étais, pour lui permettre d'avancer. Enfin, merci d'avoir pris du temps pour me faire répéter et d'avoir accepté de siéger dans le jury.

Pr Cyril Villat, merci d'être toujours disponible pour mes coups de stress et d'avoir toujours réponse à mes interrogations, merci pour votre bienveillance. Merci aussi d'avoir accepté d'être dans mon jury.

Fabien Millioz, merci d'avoir fait perdurer notre collaboration avec déjà deux encadrements de stage. Je ne saurais vous remercier assez d'avoir réussi à me faire comprendre quelques notions sur les réseaux de neurones et à chaque réunion d'avoir pris le temps de traduire en langage intelligible les résultats de nos expériences.

Emmanuel Roux, vous avez été à l'initiative d'une chouette collaboration qui a déjà bien avancé et qui j'espère perdurera. C'était un réel enrichissement personnel et professionnel d'apprendre et de travailler à vos côtés.

Laurent Roche, merci pour votre analyse minutieuse des données, merci pour votre rapport statistique d'une clarté et d'une intelligibilité impressionnantes. C'était un réel plaisir de vous lire.

Laurent Laforest, merci pour votre travail discret et efficace. Merci de nous avoir permis la publication de deux beaux articles internationaux avec leurs 20 auteurs.

Professeur Jean-Christophe Farges, merci de m'avoir encadrée pour mon master 2 recherche, ce qui m'a ouvert la voie pour cette thèse. Merci d'avoir toujours été à l'écoute et de bon conseil pour mes choix de carrière.

Professeur Pierre Farge, merci de m'avoir encadrée lors de ma thèse d'exercice et de m'avoir toujours encouragée. Merci pour votre dynamisme lors de nos vacances communes.

Julie Santamaria, merci chef de m'avoir acceptée au sein de votre Unité fonctionnelle, merci pour votre réactivité, votre compréhension et votre approche perfectionniste.

François Virard, merci pour ces moments d'échange sur votre passion pour la recherche, cela a éveillé en moi la flamme pour continuer.

Professeur Béatrice Simon, merci d'avoir été là pour mon premier stage recherche au sein de votre labo, pour votre bonne humeur, et votre implication au sein de notre établissement.

Nina, tu es une tête pensante pleine de motivation et de ressources, merci de t'investir dans le labo pour nous aider.

Charlène toujours disponible et souriante, tu es telle une petite étoile magique pour gérer les problèmes et les maintes modifications de mon powerpoint.

Benjamin Fitouchi, quel plaisir de traiter les patients ensemble avec toujours autant d'enthousiasme et d'énergie.

Caro, c'était chouette de partir en congrès ensemble et de partager ces moments de science et d'amitié avec toi. Merci d'avoir fait le déplacement juste pour moi aujourd'hui.

Doriane, merci d'avoir été co-doctorante à mes côtés, c'était sympa de pouvoir s'entraider (nous sommes incollables sur l'éthique ^^)

Alexandra, tu as été une super co-doctorante aussi, j'étais contente d'être investigatrice Resto Data sous tes conseils.

Maxime, je me rappelle que tu m'avais fait répéter pour l'oral du master 2, merci pour tes encouragements et ton soutien.

Margaux, merci pour ton amitié, ta sagesse, tout est simple avec toi.

La bande du water-polo, Aurore, Alexandre, Liliana, Antoine, Jeanne, Delphine, Marie-Laure, Sarah, Claire, Teddy, Morgane, Loïc, Hélène, Valou, Guigui, vous êtes ma bouffée d'oxygène alliant sport, fun et chouettes amitiés !!!

Mes chers parents, c'était presque des vacances de rédiger la thèse à vos côtés pendant ce mois d'août, merci de m'avoir chouchoutée, je vais essayer à mon tour d'être aussi bon parent que vous !!!

Jules, voilà tu vas me connaître sans la thèse, merci d'avoir été patient, merci pour ton amour.

Pierre, tu as vu ça de loin et tu t'es toujours demandé pourquoi je faisais une deuxième thèse, j'espère que je t'ai convaincu aujourd'hui.

Résumé (français) :

Les objectifs de ce travail doctoral étaient d'améliorer les connaissances sur la prise en charge des lésions carieuses profondes et de proposer des outils afin d'optimiser celle-ci.

Pour y parvenir, dans un premier temps une évaluation des pratiques des externes de DFASO2 a été réalisée à l'aide d'une enquête par questionnaires menée par le Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice. L'enquête montre que 50% des étudiants réalisent une excavation complète dans la prise en charge d'une lésion carieuse profonde d'une dent asymptomatique, versus 75% d'excavation complète pour les praticiens libéraux français. Les étudiants ont une vision plus conservatrice que leurs aînés sur la préservation pulpaire obtenue avec l'éviction sélective.

Dans un deuxième temps, la profondeur des lésions carieuses et la probabilité d'effraction pulpaire lors de leur curetage ont été analysées à partir d'une base de données de radiographies pré-opératoires contrastées et non contrastées de lésions carieuses profondes. La probabilité d'effraction pulpaire est mesurée par un indice prédicteur qui est le ratio de l'épaisseur de dentine résiduelle rapportée à l'épaisseur de dentine totale. Lorsque le ratio diminue de 10 points, le risque d'effraction pulpaire est multiplié par 2,57 sur les radiographies standards et par 4 sur les radiographies contrastées.

Enfin, pour améliorer la reproductibilité de lecture des radiographies pré-opératoires, une lecture automatisée à l'aide d'un réseau de neurones convolutionnel a été mise en place. Les résultats de la première expérience sur la détection des lésions carieuses sont encourageants (performance du réseau supérieur à 90%). Les résultats de l'expérience principale sur la prédiction de l'effraction pulpaire sont encore à améliorer.

Mots clés (français) :

Lésion carieuse profonde, effraction pulpaire, radiographie préopératoire, exactitude des mesures, variation inter-évaluateur, application de filtres de contraste, deep learning, réseau de neurones convolutif.

Titre (anglais) : Improved management of deep carious lesions

Résumé (anglais) :

The objectives of this doctoral work were to improve knowledge on the management of deep carious lesions and to propose tools to optimize it.

To achieve this, an evaluation of the practices of the DFASO2 externs was first carried out using a questionnaire survey conducted by the Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice. The survey shows that 50% of the students perform a complete excavation in the management of a deep carious lesion of an asymptomatic tooth, compared to 75% of complete excavation for French private practitioners. The students have a more conservative view than their elders on the pulp preservation obtained with selective eviction.

In a second step, the depth of carious lesions and the probability of pulpal exposure during their treatment were analysed from a database of non-contrasted and contrasted pre-operative radiographs of deep carious lesions. The likelihood of pulpal effraction is measured by a predictor index that is the ratio of residual dentin thickness to total dentin thickness. When the ratio decreases by 10 points, the risk of pulpal effraction increases by a factor of 2.57 on non-contrasted radiographs and by a factor of 4 on contrasted radiographs.

Finally, in order to improve the reproducibility of the reading of preoperative radiographs, an automated reading using a convolutional neural network was implemented. The results of the first experiment on the detection of carious lesions are encouraging (network performance higher than 90%). The results of the main experiment on the prediction of pulp exposure are still to be improved.

Mots clés (anglais) :

Deep carious lesion, dental pulp exposure, preoperative radiograph, measurement accuracy, observer variation, radiographic image enhancement, deep learning, convolutional neural network

*Thèse réalisée au sein du Laboratoire Multimatériaux et Interfaces (LMI) - UMR CNRS 5615
Équipe Biomatériaux et Interfaces Biologiques, UFR d'Odontologie,
11 rue Guillaume Paradin, 69372 Lyon Cedex 08*

Table des matières

Abréviations	10
Préambule	11
Introduction.....	11
1 La lésion carieuse profonde	13
1.1 Détection des lésions carieuses	13
1.2 Critères cliniques d'élimination de la dentine cariée.....	15
1.3 Thérapeutiques de préservation de la vitalité pulpaire dans la prise en charge des lésions carieuses profondes	16
2 Prise en charge des lésions carieuses au travers d'enquêtes par questionnaires	20
2.1 Contexte	20
2.2 Publications	20
2.2.1 Comparaison avec les autres enquêtes.....	21
2.2.2 Présentation de l'enquête menée par le CNEOC	25
2.2.3 Intérêt et amélioration de la construction des enquêtes	30
3 Mise au point d'un nouvel outil d'évaluation de la profondeur de la lésion	32
3.1 Contexte	32
3.2 Publication.....	32
3.3 Discussion	33
3.3.1 Reproductibilité de la lecture radiographique	33
3.3.1.1 Limites d'accord	33
3.3.1.2 Coefficient de Corrélation de Concordance	36
3.3.1.3 Prise en compte de l'erreur dans la capacité prédictive du ratio	37
3.3.1.3.1 Choix de la méthode de mesure sous forme de ratio.....	37
3.3.1.3.2 Capacité métrologique du ratio EDR/EDT	38
3.3.2 Apport du contraste	39
3.3.2.1 Sources d'erreurs en radiologie	39
3.3.2.2 Traitement d'amélioration numérique des images.....	40
4 IA et détection automatisée des lésions carieuses	45
4.1 Contexte	45
4.2 Définitions	45
4.2.1 Intelligence artificielle (IA).....	45
4.2.2 Apprentissage automatique (machine learning).....	46
4.2.3 Réseau de neurones et apprentissage profond	46
4.3 Domaines d'application de l'intelligence artificielle	48
4.3.1 Applications en odontologie	48
4.3.2 Applications dans la détection des lésions carieuses.....	49

4.4	Publication : Mise en place d'un réseau de neurones convolutif de lecture radiographique pour prédire l'effraction pulpaire : résultats préliminaires.....	50
4.4.1	Contexte	50
4.4.2	Matériel et méthodes.....	52
4.4.2.1	Implémentation du réseau de neurones.....	52
4.4.2.2	Développement du script d'entraînement de réseaux de neurones.....	52
4.4.2.3	Métriques permettant l'évaluation des performances du réseau.....	53
4.4.3	Résultats.....	55
4.5	Discussion	58
4.5.1	Limites de l'étude	58
4.5.2	Interprétabilité	58
5	Conclusion	60
6	Bibliographie.....	61
7	Annexes	71

Liste des tableaux et figures

Tableau 1. Recensement des enquêtes menées sur la prise en charge des lésions carieuses profondes....	22
Tableau 2. Critères cliniques du curetage satisfaisant d'une lésion carieuse primaire para-pulpaire.....	25
Tableau 3. Diagnostic et traitement des 3 cas cliniques proposés dans le questionnaire, rapportés aux cas cliniques similaires publiés (Finet, Weber, Crespo-Gallardo).	29
Tableau 4. Accord et concordance inter-évaluateur des mesures de ratio EDR/EDT. CCC : Concordance Correlation Coefficient.	36
Tableau 5. Interprétation des valeurs du CCC (d'après de McBride 2005).	36
Tableau 6. Apport des filtres dans la précision du diagnostic.....	41
Tableau 7. Matrices de confusion du réseau de neurones.	53
Tableau 8. Définition des métriques analysant la performance du réseau.	54
Figure 1. Nombre de publications affichées dans la base de données Pubmed.gov avec l'équation de recherche « deep carious lesion management »	11
Figure 2. Arbre décisionnel pour la prise en charge des lésions carieuses, d'après Schwendicke 2019.	14
Figure 3. Représentation schématique de la lésion carieuse (d'après Innes et coll. 2016).	16
Figure 4. Diagramme des stratégies thérapeutiques dans la prise en charge d'une lésion carieuse profonde, d'après Wolters et coll., traduit par Boukpepsi et coll.	17
Figure 5. Choix du curetage complet en 1 temps dans les différents pays dans le traitement d'une lésion carieuse profonde asymptomatique sur dent permanente mature.	27
Figure 6. Attitude thérapeutique dans le cas d'une effraction pulpaire dans le traitement d'une lésion carieuse profonde d'une dent asymptomatique.	28
Figure 7. Représentation et définition des limites d'accord inter-évaluateur au travers d'un exemple (comparaison des mesures de l'évaluateur 1 et de l'évaluateur 2).	33
Figure 8. Limites d'accord sur radiographies non contrastées. Graphiques de Bland-Altman de l'EDR/EDT sur radios non-contrastées entre chacune des 6 paires d'évaluateurs : différence des deux évaluations de l'EDR/EDT en fonction de la moyenne des deux évaluations. Le trait plein rouge correspond à la moyenne des différences sur l'ensemble des dents. Les traits en pointillés correspondent aux limites d'accord à 95% (LOA pour Limits of Agreement).	35
Figure 9. Illustration de l'exactitude (accuracy) et de la précision.....	36
Figure 10. Illustration du ratio utilisé par Bjørndal et coll. en 2010.....	38
Figure 11. Illustration de la loi du contraste simultané.....	40
Figure 12. Limites d'accord sur radiographies contrastées. Graphiques de Bland-Altman de l'EDR/EDT sur radios contrastées entre chacune des 6 paires d'évaluateurs : différence des deux évaluations de l'EDR/EDT en fonction de la moyenne des deux évaluations. Le trait plein rouge correspond à la moyenne des différences sur l'ensemble des dents. Les traits en pointillé correspondent aux limites d'accord à 95% (LOA pour Limits of Agreement)	42
Figure 13. Comparaison de la différence des limites d'accord des mesures des radiographies standards et contrastées.....	43
Figure 14. Les différents sous-domaines de l'intelligence artificielle (d'après Khanagar).	45
Figure 15. Tendances actuelles dans les domaines d'application de l'intelligence artificielle en odontologie. A. évolution chronologique du nombre de publications à visée de recherche dentaire, B. répartition géographique des études, C. applications de l'intelligence artificielle à différents domaines en odontologie, d'après Mörch et coll.	48
Figure 16. Nombre de publications affichées dans la base de données Pubmed.gov avec l'équation de recherche : ((artificial intelligence [MeSH Terms]) OR (deep learning[MeSH Terms])) AND (dent* cari*[Title]).	49
Figure 17. Découpage du jeu de données en plis (ou folds).	53
Figure 18. Performances du réseau sur l'expérience 1 détection de lésions carieuses.....	56
Figure 19. Performances du réseau sur l'expérience 2 prédiction de l'effraction pulpaire.....	57
Figure 20. Captures d'écran de l'interface développée avec Grad-CAM.	59

Abréviations

(par ordre d'apparition dans le texte)

DECAT : « DEep Caries Treatment »

CNEOC : Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice

DFASO2 : Diplôme de Formation Approfondie en Sciences Odontologiques 2^{ème} cycle, 5^{ème} année

ESE : European Society of Endodontology

ICDAS : International Caries Detection & Assessment System

ICCMS : International Caries Classification and Management System

ICCC : International Consensus Caries Collaboration

CC : Cas Clinique

SURGE : **SUR**vey **R**eporting **G**uideline

CHERRIES : **C**hecklist for **R**eporting **R**esults of **I**nternet **E**-Surveys

CROSS : **C**onsensus-Based Checklist for **R**eporting of **S**urvey **S**tudies

EDR : Epaisseur de Dentine Résiduelle

EDT : Epaisseur de Dentine Totale

LOA : Limits Of Agreements

CCC : Concordance Correlation Coefficient

IA : Intelligence Artificielle

ML : Machine Learning

CNN : Convolutional Neural Network

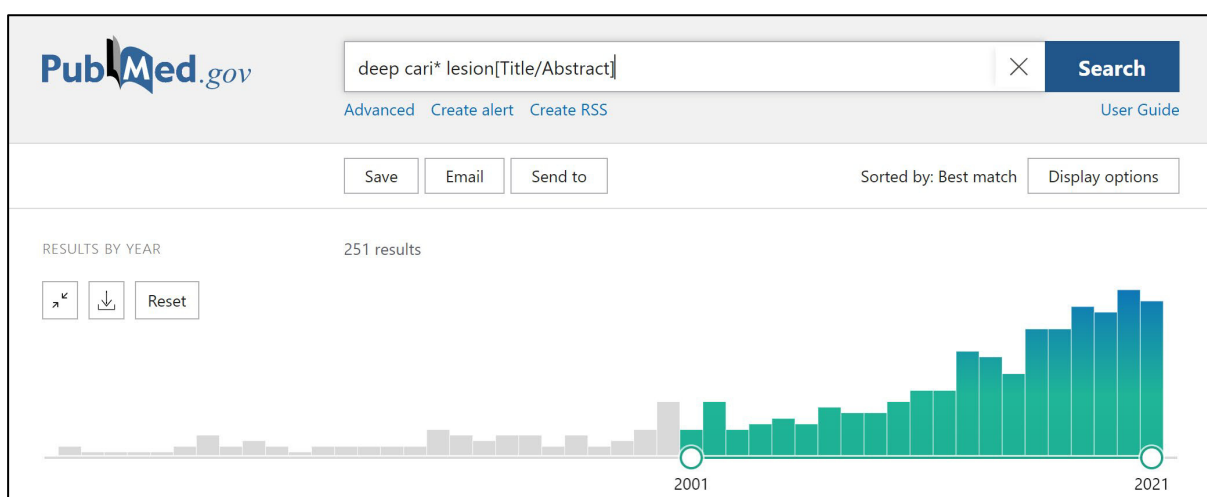
[Préambule](#)

Mon projet de recherche s'est construit à la suite de ma participation à l'essai clinique randomisé DECAT « DEep Caries Treatment », Projet Hospitalier de Recherche Clinique multicentrique 13-0347 (NTC 02286388), incluant 470 patients inclus dans 15 centres hospitaliers. Dans ce projet, j'ai été investigatrice et j'ai inclus 21 patients de 2015 à 2017. L'objectif principal de cette étude était de comparer deux types d'évictions dans le traitement des lésions carieuses profondes : complète versus sélective. Cette première approche en recherche clinique m'a permis d'acquérir du recul sur ma pratique clinique et notamment sur les enjeux liés aux lésions carieuses profondes. Mon travail doctoral s'est articulé autour de l'amélioration de la prise en charge de ces lésions, avec la mise au point d'un indice prédictif de l'effraction pulpaire à partir des radiographies préopératoires de ces lésions et avec l'apport de l'intelligence artificielle pour la lecture automatisée de ces radiographies préopératoires.

[Introduction](#)

Parmi les pathologies mondiales, la maladie carieuse non traitée sur dents permanentes est l'affection la plus répandue, touchant 2,3 milliards de personnes en 2015, soit 34% de la population mondiale (Global Burden Disease study 1990-2015) [1,2]. Sa prévalence n'a baissé que de 4% depuis 1990. Il s'agit toujours d'un problème de santé majeur dans la plupart des pays industrialisés, où 60 à 90% des enfants et la grande majorité des adultes sont touchés par la maladie carieuse, avec un pic de prévalence qui s'est déplacé chez les sujets jeunes (15-19 ans), alors qu'il se situait en 1990 et 2010 chez les sujets de 25 ans [3]. 33% des patients de l'étude resto data présentent une lésion carieuse dentinaire et 20% une lésion carieuse de l'émail [4].

En 2021, la prise en charge des lésions carieuses profondes est plus que jamais devenue un sujet d'actualité, comme en témoigne le nombre de publications parues depuis 2001 (251 articles jusqu'à juillet 2021) (Figure 1).



avec l'équation de recherche « deep carious lesion ».

Cette prise en charge s'inscrit dans le cadre des thérapeutiques minimalement invasives avec le respect du gradient thérapeutique et une prise de conscience de la nécessité de la préservation des tissus et notamment de la vitalité pulpaire pour éviter à la dent d'entrer dans un cycle de restauration délétère [5]. Le challenge du soin de ces lésions réside dans l'évaluation de la profondeur d'une lésion tri-dimensionnelle à l'aide d'un examen radiographique en deux dimensions et la difficulté consécutive à pronostiquer une éventuelle effraction pulpaire. Le scellement des bactéries dans la dentine molle, mis en évidence tout d'abord en denture temporaire en 1977 puis appliqué en denture permanente en 2008, a permis une grande avancée dans le curetage sélectif des lésions carieuses profondes avec conservation et reminéralisation de la dentine para-pulpaire [6,7].

Ce travail propose d'apporter des résultats et des éléments de réflexion à la problématique suivante :
Quels sont les apports de la recherche pour optimiser la pratique clinique dans la prise en charge de ce type de lésions ?

En première partie, un état des lieux de la prise en charge des lésions carieuses profondes au travers d'enquêtes par questionnaires a été réalisé. Cela s'inscrit dans la suite d'enquêtes internationales récentes destinées majoritairement aux praticiens. Puis, seront présentés les travaux originaux initiés au sein du Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice (CNEOC), qui a choisi d'étendre ces enquêtes auprès des étudiants de DFASO2 (Diplôme de Formation Approfondie en Sciences Odontologiques) de chirurgie dentaire de France afin de pouvoir évaluer leurs propres connaissances et attitudes à propos de l'intervention minimale, eux qui sont les jeunes praticiens de demain.

La seconde partie présentera la mise au point d'un nouvel outil d'évaluation de la profondeur de la lésion carieuse, développé dans le cadre de ce travail doctoral, et qui propose d'utiliser l'examen radiographique préopératoire comme outil prédictif de l'effraction pulpaire.

La troisième partie analysera l'apport d'un réseau de neurones convolutif dans l'optimisation de la prédiction de l'effraction pulpaire lors de la lecture des radiographies préopératoires.

Ce chapitre a pour objectif de synthétiser et réactualiser les notions sur lesquelles les travaux de cette thèse s'appuient. La lésion carieuse profonde y sera définie et seront présentées les dernières recommandations en matière de moyens de diagnostic et de traitement.

1.1 Détection des lésions carieuses

La détection visuelle des lésions carieuses coronaires primaires est réalisée à l'aide des 6 codes de la classification ICDAS (International Caries Detection & Assessment System) qui se rapportent à l'état carieux observé [8]. Les lésions de score ICDAS 1 (atteinte de la moitié externe de l'émail visible après séchage prolongé de la surface amélaire) et ICDAS 2 (atteinte de la moitié interne de l'émail visible sans séchage) sont des lésions initiales uniquement amélaire, qui sont reminéralisables par précipitation des cristaux d'hydroxyapatite. Leur traitement nécessite le recours à l'éducation thérapeutique afin d'améliorer l'hygiène orale et la prescription d'un apport topique de fluor. Les lésions de score ICDAS 3 (atteinte qui s'étend jusqu'au 1/3 dentinaire externe) montrent une rupture localisée de l'émail sans signe visuel d'atteinte dentinaire ; ces lésions peuvent être traitées avec un scellement de sillon thérapeutique.

Les lésions de score ICDAS 4, 5 et 6 correspondent à des lésions qui nécessitent un curetage, plus précisément, le score ICDAS 4 caractérise les lésions carieuses moyennement profondes, et les scores ICDAS 5 et 6 les lésions carieuses profondes :

- ICDAS 4 : ombre sous-jacente visible au travers de l'émail dans la dentine, atteinte qui s'étend jusqu'au 1/3 dentinaire moyen,
- ICDAS 5 : cavité distincte avec dentine exposée, atteinte qui s'étend jusqu'au 1/3 dentinaire interne,
- ICDAS 6 : cavité étendue.

Bien que très important, l'examen clinique n'est cependant pas suffisant dans la détection des lésions carieuses, affichant une sensibilité de 30% dans la détection des lésions carieuses proximales; ainsi, 70 % de celles-ci ne sont donc pas diagnostiquées lors d'un simple examen visuel [9,10]. L'examen clinique doit être complété par un examen complémentaire : la radiographie rétrocoronaire.

La lésion carieuse profonde se définit comme une lésion dentinaire qui présente à la radiographie un risque d'exposition pulpaire lors de son curetage [11,12]. Les avis des auteurs diffèrent cependant dans sa description volumétrique. En 2009, une lésion carieuse profonde est définie par Casagrande et coll. comme une lésion dentinaire atteignant la moitié de l'épaisseur dentinaire [13]. Alves et coll. la catégorisent comme une lésion concernant plus des 2/3 de l'épaisseur dentinaire en direction pulpaire avec maintien d'une zone de dentine réactionnelle plus ou moins déminéralisée [14].

En 2019, lors du congrès de l'European Society of Endodontology (ESE), la définition de lésion carieuse profonde est réactualisée [15]. Elle est désormais définie comme une lésion radioclaire pénétrant radiographiquement dans le ¼ interne de l'épaisseur dentinaire, avec toujours le maintien d'une zone de dentine radio-opaque séparant la dentine déminéralisée infectée de la pulpe. L'ESE la distingue de

la lésion carieuse extrêmement profonde qui se définit comme pénétrant toute l'épaisseur de la dentine, sans zone radio opaque.

La radiographie rétrocoronaire joue un rôle essentiel dans l'appréciation de l'extension en profondeur des lésions carieuses. Schwendicke et coll. ont établi une revue systématique portant sur la sensibilité et la spécificité de cet examen dans la détection des lésions carieuses [16]. Ils ont ainsi analysé 117 études utilisant des données de 13 375 dents et pu conclure que la détection radiographique pour tous types de lésions carieuses confondues (initiales et avancées) est peu sensible. Elle est notamment insuffisante pour la détection des lésions initiales amélaire (sensibilité de 0,24) et modérément sensible pour les lésions dentinaires non cavitaires. La détection est plus sensible pour les lésions dentinaires avancées et cavitaires (sensibilité de 0,60) avec peu de faux positifs (spécificité 0,90). A ce jour, à notre connaissance, il n'y a aucune étude qui porte sur la sensibilité de la radiographie dans la détection des lésions occlusales cavitaires, ce qui s'explique par le fait qu'elles se détectent à l'examen clinique visuel.

Un inconvénient majeur de la radiographie rétrocoronaire est qu'elle n'indique pas formellement la cavitation, qui est le seuil restaurateur pour le traitement des lésions carieuses, au-delà duquel le traitement chirurgical est requis [9]. Des études ont cependant corrélé la radiographie rétrocoronaire et la fréquence de cavitations des lésions carieuses proximales [17,18] (Figure 2).

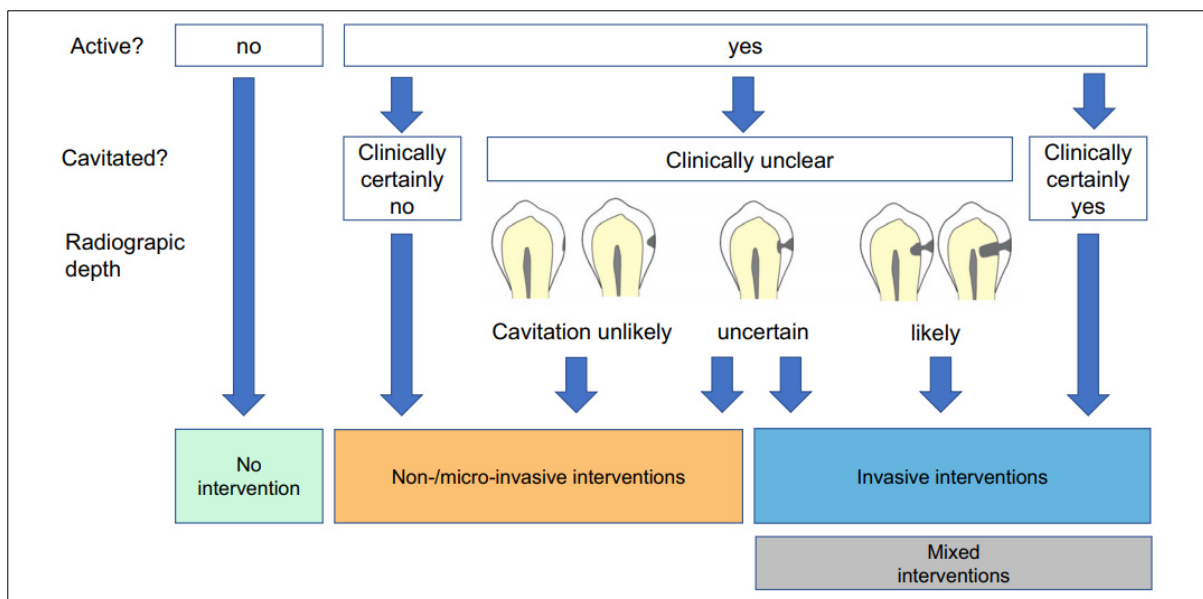


Figure 2. Arbre décisionnel pour la prise en charge des lésions carieuses, d'après Schwendicke 2019.

- Les lésions carieuses de l'émail sont à 90% non cavitaires, avec 10% de cavitation des lésions carieuses de la moitié interne de l'émail. Pour ces lésions initiales, des techniques de reminéralisation sont préconisées.
- Les lésions dépassant le 1/3 dentinaire moyen sont le plus souvent cavitaires et traitées chirurgicalement.
- Quant aux lésions atteignant jusqu'au 1/3 dentinaire externe, la cavitation est peu probable. Pour Pitts et coll. en 1992, 60% des lésions radioclaires de la moitié externe dentinaire sont non cavitaires. Pour valider cliniquement la présence de cavitation, il est possible par exemple

d'utiliser des séparateurs orthodontiques ou coins interdentaires. Ces lésions carieuses se traitent comme des lésions dentinaires non cavitaires de manière non ou micro-invasive, avec un scellement thérapeutique des sillons pour des lésions occlusales ou accessibles. Pour des lésions non accessibles au scellement ni au nettoyage, un traitement ultra-conservateur est préconisé.

Pour compléter la détection formelle de la lésion carieuse obtenue par l'examen visuel et radiographique, il convient d'évaluer son activité carieuse. L'ICDAS est un des seuls systèmes de classification (avec les critères de Nyvad et coll. [19]) qui permet d'évaluer l'activité de la lésion carieuse. Une lésion peut être inactive et apparaître comme une lésion radioclaire cicatricielle à la radiographie ou sous la forme d'une lésion colorée en bouche. Elle ne nécessite pas de traitement interventionnel dans ce cas mais une surveillance [5].

Enfin, l'International Caries Classification and Management System (ICCMS) vise une prise en charge du patient de manière personnalisée en combinant les données dentaires (le score restaurateur cumulant le score obtenu par la détection visuelle ICDAS, les résultats de l'examen radiographique rétrocoronaire et l'activité de la lésion carieuse) et l'évaluation du risque carieux à l'échelle du patient (niveau d'hygiène oral, antécédents carieux, comportement alimentaire, apport en fluor).

Des outils complémentaires utilisant des systèmes d'imagerie par fluorescence permettent une évaluation qualitative. La transillumination est particulièrement sensible dans la détection des lésions proximales.

1.2 Critères cliniques d'élimination de la dentine cariée

L'International Caries Consensus Collaboration (ICCC) [20] définit une terminologie des types de dentine, représentées sur la figure 3 :

- La dentine molle (*soft dentin*) se déforme quand un instrument rigide est pressé dessus, et la dentine molle peut facilement être excavée avec peu de force en utilisant un excavateur.
- La dentine cuir (*leathery dentin*) ne se déforme pas lorsqu'un instrument est pressé dessus, mais est facilement être retirée avec un excavateur en appuyant un peu plus que pour la dentine molle.
- La dentine ferme (*firm dentin*) est résistante à l'excavation manuelle et nécessite une pression manuelle à l'excavateur pour arriver à en retirer un copeau.
- La dentine dure (*hard dentin*) nécessite de presser fort pour en retirer un copeau avec un instrument rigide. Lorsqu'une sonde passe sur la dentine dure, un crissement strident ou « cri dentinaire » peut être perçu.

Pour résumer, c'est surtout un critère de dureté qui est utilisé pour différencier cliniquement les types de dentine, mais en pratique, il est difficile de différencier la dentine cuir de la dentine ferme. Il est simplement admis qu'elles se situent sur un gradient de dureté croissant.

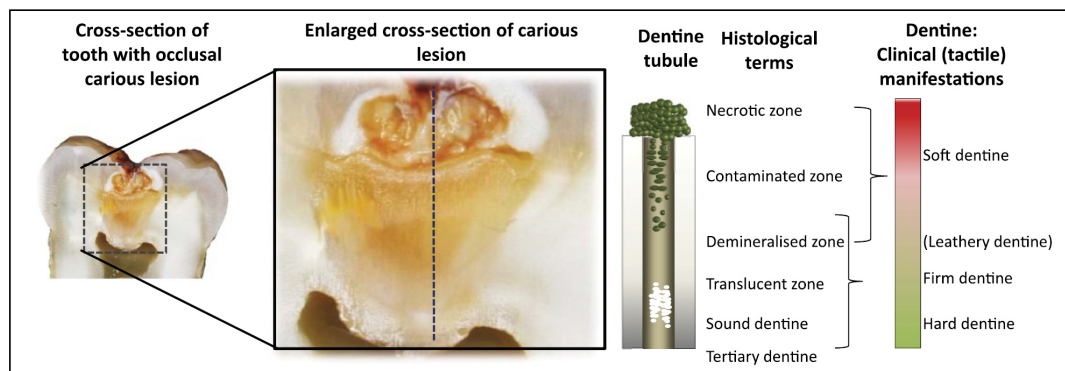


Figure 3. Représentation schématique de la lésion carieuse (d'après Innes et coll. 2016).

Divers critères cliniques ont été proposés pour évaluer le curetage satisfaisant d'une lésion carieuse : la dureté, l'humidité, la couleur, les propriétés de fluorescence et le révélateur de carie. Le critère de dureté est un critère essentiel et les autres critères (humidité, couleur) doivent être considérés comme des indicateurs additionnels (recommandations faibles de l'ICCC) [21]. Le révélateur de carie est préjudiciable lors d'une éviction para-pulpaire puisque son utilisation conduit à une éviction complète [22].

Les critères cliniques utilisés pour l'élimination de la dentine cariée tels que dentine dure, coloration foncée de la dentine, ou dentine sèche ne garantissent pas l'absence de bactéries [22,23]. Il reste toujours des bactéries y compris lors de la technique de curetage complet de la lésion carieuse, même s'il y a moins de bactéries dans la dentine dure que dans la dentine molle [24]. Les bactéries restantes vont être scellées ou vitrifiées dans la dentine [25,26]. Le nombre de bactéries viables à long terme restant à proximité de la pulpe ne semble pas augmenter dans les lésions scellées [27]. Il n'est donc plus recommandé d'enlever du tissu dentinaire dans le seul but d'éliminer l'intégralité des bactéries.

Une zone superficielle infectée et une zone profonde affectée ont été décrites par Fusayama et coll. [28]. La zone affectée a un potentiel de reminéralisation si la charge bactérienne de la zone infectée superficielle est enlevée [29]. La dentine est une substance bioactive : son scellement correspond à une reminéralisation effectuée grâce à une synthèse de dentine péri-tubulaire (sclérose des tubuli dentinaires) et une synthèse de dentine tertiaire réactionnelle [30,31]. Cette synthèse de dentine permet de préserver la pulpe et de diminuer la perméabilité de la dentine restante, ce qui réduit ainsi l'exsudat pulpaire, privant ainsi les bactéries de nutriments et perturbant le biofilm. La dentine infectée pourrait aussi être reminéralisée [32].

1.3 Thérapeutiques de préservation de la vitalité pulpaire dans la prise en charge des lésions carieuses profondes

L'enjeu du traitement des lésions carieuses profondes est de préserver la vitalité pulpaire afin d'être le moins invasif possible et de prolonger la durée de vie de la dent sur l'arcade et de lui éviter de rentrer dans un cycle de restauration défavorable (traitement endodontique – restauration corono-radulaire – prothèse – fracture – avulsion [33]). Les stratégies de préservation de la vitalité pulpaire dans la prise en charge d'une lésion carieuse profonde sur dent mature ont été définies par l'International Caries Consensus Collaboration et par l'European Society of Endodontology [15] et sont résumées dans la figure ci-après [15,21]. Ces techniques sont indiquées uniquement dans le cas d'une pulpe vivante en pulpite légère à modérée selon la classification de Wolters et coll. 2017 qui vient compléter la classification

conventionnelle de Ricucci et coll. 2014 [34,35]. Cette classification permet d'élargir les indications de préservation de la vitalité pulpaire aux pulpes présentant des douleurs spontanées.

- *Les pulpites initiales, légères et modérées* conventionnellement dénommées « *pulpites réversibles* » : la pulpite initiale est une réponse d'intensité plus élevée au froid mais non allongée ; la pulpite légère répond à une symptomatologie de douleurs provoquées d'intensité légère, et une réponse exacerbée au test au froid avec une rémanence inférieure à 20 secondes ; la pulpite modérée a une symptomatologie de douleur spontanée d'intensité modérée avec une réponse exacerbée au test au froid avec une rémanence supérieure à 20 secondes. Le diagnostic établi en préopératoire devra être confirmé en per-opératoire en fonction de la possibilité d'obtenir une hémostase en moins de 2 minutes.
- La *pulpite sévère* ou conventionnellement dénommée « *pulpite irréversible* » a une symptomatologie de douleur spontanée d'intensité sévère, et une réponse positive au test de percussion axial.

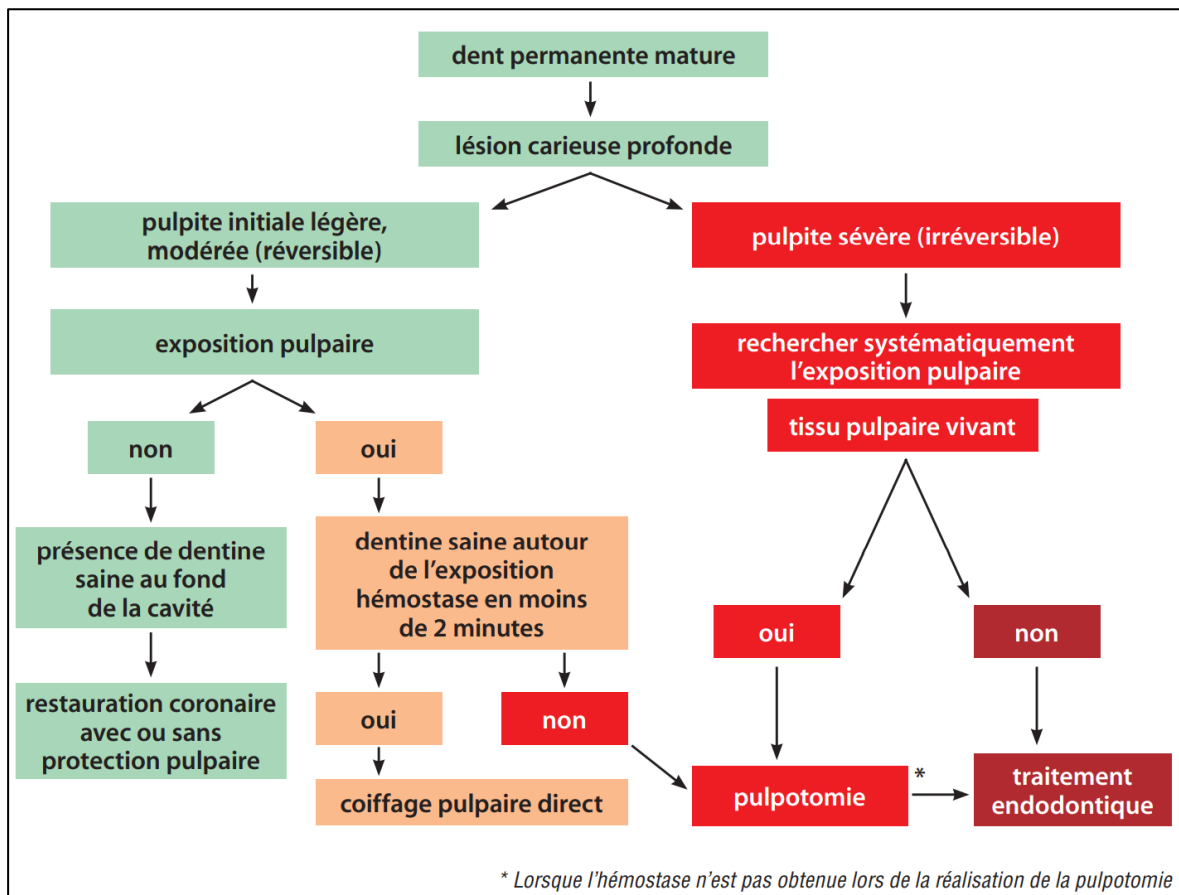


Figure 4. Diagramme des stratégies thérapeutiques dans la prise en charge d'une lésion carieuse profonde, d'après Wolters et coll. [34], traduit par Boukpepsi et coll. [36].

Concernant les stratégies thérapeutiques de prise en charge des lésions carieuses profondes, les études montrent que *l'excavation complète directe* des lésions carieuses profondes entraîne un taux d'exposition de la pulpe dans 35 à 40% des cas [12,37]. Cette technique n'est plus recommandée dans le traitement d'une lésion carieuse profonde, comme le montrent Schwendicke et coll. dans la revue Cochrane publiée en 2021 ; les techniques de « *stepwise* » et d'excavation sélective sont à privilégier [38].

La technique « *stepwise* » (*traitement pulpaire indirect en 2 étapes*) a été décrite par Bjørndal et coll. en 1997 dans une étude *in vivo*, puis étudiée dans des essais cliniques par Bjørndal et coll. et Leksell et coll. [12,37,39,40]. La technique « *stepwise* » réduit le nombre d'expositions pulpaires par rapport à l'excavation complète directe d'environ 20% (Leksell et coll. : 40% pour l'éviction complète versus 17% pour la technique « *stepwise* »; Bjørndal et coll. : 1,5 ans: 29% vs 17% ; 5 ans : 35% vs 21%).

Lors de la technique « *stepwise* », le curetage sélectif est réalisé en deux temps. La première étape consiste en l'excavation complète en périphérie de la lésion carieuse et en une élimination très légère du tissu carieux nécrotique du fond de la cavité (curetage sélectif jusqu'à la dentine molle). Lorsqu'elle a été décrite par Bjørndal et coll., la dentine molle para-pulpaire était temporairement scellée avec de l'hydroxyde de calcium en coiffage pulpaire indirect, puis de l'eugénate en matériau d'obturation temporaire [40]. Dans un second temps, la cavité est réouverte 6 à 12 mois plus tard : le tissu carieux mou restant est éliminé complètement une fois que la pulpe est rétractée et la dentine réactionnelle synthétisée (curetage sélectif jusqu'à la dentine ferme). Certaines études éliminent jusqu'à la dentine dure lors de la réintervention [40]. La pertinence d'une réintervention est discutée et discutable : perte d'étanchéité de l'obturation en inter séance, risque de reprise carieuse, risque de contamination bactérienne lors de la réintervention, ou encore absence au second rendez-vous du patient devenu asymptomatique. Les traitements pulpaires indirects en une seule étape nécessitent moins de temps opératoire, ont des coûts moins élevés au long terme et montrent une durée de vie plus longue de la dent sur l'arcade [33]. De plus, les taux de succès sont en faveur de l'excavation sélective (99%) par rapport à la technique « *stepwise* » (86%) comme le montrent Maltz et coll. dans un essai clinique randomisé à 18 mois [41].

Le curetage sélectif a initialement été étudié par Orhan et coll., Bjørndal et coll., Maltz et coll., dans des essais cliniques randomisés sur dents permanentes à la suite de nombreuses publications sur l'éviction sélective réalisées sur dents temporaires [40,42,43]. Le curetage sélectif consiste à laisser de la dentine infectée (ou *soft dentin*) sélectivement en para-pulpaire, et avec un curetage jusqu'à la dentine dure en périphérie afin d'assurer un scellement périphérique étanche [21,44]. Puis la restauration définitive est apposée sans protection intermédiaire. Le curetage sélectif peut aussi être effectué pour une lésion cavitaire modérément profonde (atteinte du 1/3 dentinaire moyen), avec une élimination sélective para-pulpaire jusqu'à la dentine ferme.

Le curetage sélectif diminue significativement le taux d'exposition pulpaire par rapport à l'excavation complète des caries profondes [37,40,42,45–47]. Son taux de succès est supérieur à 90% [12]. Des essais cliniques randomisés ont montré des taux de survie pulpaire de 60 à 80% à 5 ans [37,48]. A 10 ans, le taux de succès est de 63% [43]. L'éviction sélective est actuellement le traitement de référence dans la prise en charge des lésions carieuses profondes [15].

La nécessité de mettre une protection dentino-pulpaire ou « *liner* » dans la technique de curetage sélectif en coiffage pulpaire indirect est de moins en moins évidente [49]. Maltz et coll. recommandaient la mise en place de l'hydroxyde de calcium recouvert par une résine composite [43]. Les protections recommandées par l'ESE sont les ciments silicates de calcium ou les ciments verres ionomères, même si les ciments silicates ont un meilleur taux de succès à 12 mois. Les adhésifs et les ciments verre ionomères modifiés par adjonction de résine libèrent des monomères et sont donc déconseillés [50,51]. Les bénéfices additionnels des protections seraient une réduction du nombre de bactéries, d'éviter une pénétration du monomère dans les tubuli dentinaires en proximité pulpaire.

Une exposition pulpaire accidentelle ou inévitable lors du curetage conduit à une prise en charge par des traitements pulpaires directs. Le coiffage pulpaire direct a été décrit initialement par Tronstad et coll. en 1972 et consiste en l'apposition d'un matériau de coiffage directement sur une pulpe saine non enflammée, sans préparation ; la pulpe doit être entourée par de la dentine saine, avec champ opératoire aseptique, puis apposition de la restauration définitive [52]. Les matériaux de coiffage

bioactifs (silicates tricalciques) induisent la formation d'une dentine tertiaire réparatrice [53]. Le coiffage pulpaire direct est principalement recommandé lors d'une effraction pulpaire accidentelle peropératoire de la pulpe. En fonction du niveau où l'hémostase pulpaire est obtenue, le coiffage pulpaire direct peut évoluer en pulpotomie partielle ou complète [54].

Le taux de succès des coiffages pulpaires directs à l'hydroxyde de calcium étaient de 32% à 1 an et de 33% à 3 ans respectivement (études de Bjørndal et coll. en 2010 avec utilisation de la digue et d'Al-Hiyasat et coll. en 2006 sans utilisation de la digue [55,56]) et de 13% à 10 ans (étude de Barthel et coll. en 2000, avec utilisation de la digue [57]). Puis avec l'arrivée des matériaux bioactifs utilisés en coiffage pulpaire direct sous asepsie stricte, les taux de succès ont atteint à près de 90% [58,59].

Dans sa revue systématique, Aguilar et coll. montrent des taux de succès plus variables (37%, 66%, 87%, 98% selon les études, soit en moyenne 73% de taux de succès à 3 ans) sur le coiffage pulpaire direct que sur les pulpotomies partielle ou basse (99% pour toutes les études de taux de succès à 3 ans) [60]. Ce phénomène pourrait s'expliquer par le fait que la pulpe enflammée est plus systématiquement retirée dans les techniques de pulpotomie que lors d'un coiffage direct.

Pour pouvoir choisir entre ces différentes options thérapeutiques, les chirurgiens-dentistes se réfèrent à des critères cliniques ainsi qu'à la profondeur de la lésion carieuse constatée sur la radiographie préopératoire.

- Dans le cas de lésion profonde avec épaisseur de dentine résiduelle visible radiographiquement, la stratégie thérapeutique recommandée est une excavation sélective de la dentine cariée afin de préserver la pulpe saine.
- Dans le cas de lésion extrêmement profonde sans épaisseur de dentine résiduelle visible radiographiquement, il est probable qu'il existe une zone de contamination bactérienne en surface de la pulpe [61,62]. Sont alors indiquées une pulpotomie partielle ou complète en fonction du temps d'hémostase constaté. La pulpotomie s'effectue après un curetage non sélectif avec une dentine environnante saine pour éviter une surcontamination bactérienne de la pulpe.
- Dans ces deux cas, le coiffage pulpaire direct peut être indiqué lors d'une effraction accidentelle.

Chercher à évaluer le risque d'effraction en amont de l'acte d'excavation à l'aide de la radiographie préopératoire permet de mieux anticiper la stratégie thérapeutique (curetage sélectif pour un coiffage pulpaire indirect versus curetage complet pour une pulpotomie) et ainsi d'améliorer la qualité des soins et de donner à l'organe dentaire l'opportunité d'avoir un cycle de vie plus long.

Au cours de cette dernière décennie, les données issues des diverses études sur les lésions carieuses profondes, tout comme les nouveaux matériaux, ont enrichi les connaissances des praticiens et optimisé les traitements pouvant être mis en œuvre. Ce travail de recherche s'inscrit dans cette continuité, au travers d'approches différentes et complémentaires :

- la mise en place d'une enquête sur la prise en charge des lésions carieuses profondes auprès des futurs chirurgiens-dentistes
- l'apport des technologies en amont du soin pour en améliorer la prise en charge et le pronostic.

2.1 Contexte

Est présentée ci-après une enquête par questionnaire auprès des étudiants de DFASO2 français, futurs praticiens. Portée par les Pr Doméjean et Seux, et sous l'égide du CNEOC, cette enquête s'inscrit dans la continuité de celles déjà réalisées auprès des praticiens libéraux en France [63–65]. Le questionnaire spécifique à cette étude a été construit en s'appuyant sur les trois précédentes enquêtes ci-dessous ;

- les cas cliniques de lésions carieuses profondes issues de Weber et coll. (2011) [66],
- les items de l'enquête menée par Schwendicke et coll. (2013) sur le choix de curetage d'une lésion carieuse profonde et les critères utilisés pour le valider [67],
- les scénarios issus de Stangvaltaite et coll. (2013) [68].

Intitulé « *Intervention Minimale : Connaissances et attitudes des étudiants français en chirurgie dentaire* », ce questionnaire a été distribué, sous version papier, en 2018 aux 1370 étudiants en fin de DFASO2 dans les 16 facultés de chirurgie dentaire de France, afin d'évaluer les connaissances acquises dans leur cursus sur l'intervention minimale, dont la prise en charge des lésions carieuses profonde fait partie. Le taux de réponse était de 84,5%.

Ce questionnaire s'organise en 4 parties : évaluation du risque carieux, scellements préventifs et thérapeutiques, seuil restaurateur, lésions carieuses profondes. Il est présenté en annexe 1.

2.2 Publications

Ce travail a donné lieu à 3 publications internationales.

- La première publication, à laquelle j'ai été associée en deuxième auteur, porte sur *l'évaluation du risque carieux et les scellements préventifs et thérapeutiques*. Publiée dans la revue *Odontology* en mai 2020, cet article traite plus particulièrement de prévention, il a été choisi de ne pas le présenter. Il est proposé en annexe 2 [69].
- La deuxième publication, publiée en avril 2021 dans la revue *Oral Health and Preventive Dentistry*, traite de *l'état des connaissances et attitudes à propos du seuil restaurateur* [70]. Ce travail spécifique a fait l'objet d'un poster au Conseuro de Berlin en 2019. L'ensemble de ces documents est présenté en annexes 3 et 4.
- La troisième publication s'intéresse à *l'évaluation de l'état des connaissances et attitudes à propos de la prise en charge des lésions carieuses profondes*. Accepté pour publication dans la revue *Oral Health and Preventive Dentistry*, il est actuellement sous presse. La version de travail est proposée en annexe 5. Les connaissances des étudiants ont été évaluées au travers d'items portant sur les critères cliniques du curetage d'une lésion carieuse, sur leur prise en charge dans le cas d'une lésion carieuse profonde ainsi que sur leur diagnostic et la stratégie thérapeutique au travers de 3 scénarios cliniques.

2.2.1 Comparaison avec les autres enquêtes

Afin de comparer les résultats de l'enquête avec les publications d'enquêtes similaires, une recherche a été effectuée sur PubMed (tableau 1) pour recenser les enquêtes qui ont investigué sur la prise en charge des lésions carieuses profondes des dents permanentes matures asymptomatiques ou en pulpite légère ou réversible. L'équation suivante a été utilisée : (((deep carious lesions) OR (deep caries lesions)) AND ((questionnaire) OR (survey))) AND (((knowledge) OR (attitude)) OR (practice)). Ont été exclus : les articles hors sujet ([71–80] ; les articles sur dents temporaires ou dents permanentes immatures [81–83], les revues [84,85]). Dix-sept articles ont été retenus et sont présentés dans le tableau 1.

- Ces enquêtes sont à destination de différents publics :

des praticiens libéraux [64,67,68,86–94], des praticiens hospitaliers [66], des membres d'une société savante d'endodontie [95], des enseignants américains [96] et des étudiants brésiliens et malaysiens [97,98].

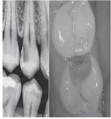
- Ces enquêtes se présentent sous différents formats :

questionnaires électroniques pour des praticiens libéraux avec un taux de réponse moyen à 38% ; questionnaires sur papier pour des publics universitaires, ici 3, avec un taux de réponse moyen à 61% ; un format mixte avec un taux de réponse à 67% [91].

Pour mémoire, le taux de réponse de l'enquête présentée dans ce travail doctoral est de 84,5% et est bien supérieur à la moyenne des taux de réponse de ces autres enquêtes.

Concernant spécifiquement la partie sur la prise en charge des lésions carieuses profondes, elle a été diffusée à des praticiens libéraux français, allemands et norvégiens ce qui a fait l'objet d'une publication nationale par Finet et coll. en 2016 et d'une publication internationale par Stangvaltaite et coll. en 2017 [64,65]. Les prises en charge par les étudiants français de DFASO2 en 2018 et par les praticiens français en 2014 ont été comparées dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 1. Recensement des enquêtes menées sur la prise en charge des lésions carieuses profondes.

Auteur	Titre	Année	Journal	Lieu	Questionnaire	Résultats	Population étudiée
équation de recherche : (((deep carious lesions) OR (deep caries lesions)) AND ((questionnaire) OR (survey))) AND (((knowledge) OR (attitude)) OR (practice)) depuis 2011							
Weber CM [66]	Treatment decisions for deep carious lesions in the Public Health Service in Southern Brazil 10.1111/j.1752-7325.2011.00258.x	2011	J Public Health Dent	Brésil	Evaluation de la prise en charge de lésions carieuses profondes 3 cas cliniques de lésions carieuses profondes Enquête papier	Prise en charge de lésions carieuses profondes asymptomatiques : - Excavation complète: 71% - Stepwise :17% - Excavation sélective: 8% thérapies pulpaire (coiffage, traitement endodontique) : 2.5%	54 professionnels de santé du service public (taux participation : 44%)
Schwendicke F [67]	Attitudes and Behaviour regarding Deep Dentin Caries Removal: A Survey among German Dentists 10.1159/000351662	2013	Caries Res	Allemagne	Evaluation du type de curetage dans les lésions carieuses profondes :curetage sélectif ou stepwise, et des critères utilisés pour évaluer le curetage de la lésion Questionnaire en ligne	Prise en charge de lésions carieuses profondes asymptomatiques : Choix du curetage complet pour 50% des praticiens vs sélectif pour 20% En cas de nécessité de curetage incomplet, 70% des praticiens ont peur de l'excavation sélective et préfèrent la technique stepwise <u>Critère de curetage de la dentine</u> : dreté	821 praticiens libéraux (taux participation : 35%)
Stangvaltaite L [68]	Treatment preferences of deep carious lesions in mature teeth: Questionnaire study among dentists in Northern Norway 10.3109/00016357.2013.775338	2013	Acta Odontol Scand	Norvège	Evaluation de la prise en charge des lésions carieuses profondes 4 scénarios Questionnaire en ligne 	<u>Absence de symptômes + Absence d'effraction pulpaire</u> : 49% excavation totale et 45% stepwise <u>Présence de symptômes + Absence d'effraction pulpaire</u> : 39% excavation totale et 38% stepwise <u>Absence de symptômes + effraction pulpaire</u> : 51% coiffage pulpaire direct , 7% pulpotomie partielle, 42% traitement endodontique <u>Symptômes + effraction pulpaire</u> : 91% traitement endodontique, 6% pulpotomie partielle, 3% coiffage pulpaire direct	222 praticiens libéraux (taux participation : 56%)
Chisini LA [85]	Vital Pulp Therapies in Clinical Practice: Findings from a Survey with Dentist in Southern Brazil 10.1590/0103-6440201300409	2015	Braz Dent J	Brésil	Evaluation de l'utilisation des matériaux lors du coiffage pulpaire direct, indirect,et de la prise en charge des lésions carieuses profondes Enquête papier	<u>Matériau le plus choisi</u> : hydroxyde de calcium à 86% pour les coiffages pulpaire directs, et à 80% pour les coiffages pulpaire indirects <u>Prise en charge de lésions carieuses profondes asymptomatiques</u> : Choix du sélectif par 62% des dentistes (évicition complète : 38%)	187 dentistes (taux de réponse : 68%)
Schwendicke F [87]	Dentists' attitudes and behaviour regarding deep carious lesion management: a multi-national survey 10.1007/s00784-016-1776-5	2017	Clin Oral Investig	France, Allemagne, Norvège	Comparaison de la prise en charge des lésions carieuses profondes en France, Allemagne et Norvège Questionnaire en ligne Compilation de 3 questionnaires : Weber 2011, Schwendicke 2013 et Stangvaltaite 2013	<u>Critère de curetage de la dentine</u> : dreté pour les 3 pays <u>Prise en charge de lésions carieuses profondes asymptomatiques</u> : France, Allemagne : 66% excavation complète Norvège : 84% stepwise Réticence au curetage sélectif	Praticiens libéraux (taux participation : 33% en France, 25% en Allemagne, 33% en Norvège)

Koopaei MM [88]	General dentists', pediatric dentists' and endodontists' diagnostic assessment and treatment strategies for deep carious lesions 10.1016/j.adaj.2016.11.001	2017	J Am Dent Assoc	USA	Evaluation de la prise en charge des lésions carieuses profondes Questionnaire en ligne	<u>Critère de curetage de la dentine</u> : dureté <u>Prise en charge de lésions carieuses profondes asymptomatiques</u> : 68% endodontistes et 47 % omnipraticiens pratiquent le curetage complet Réticence au curetage sélectif des endodontistes (4%), des omnipraticiens (12%) , des pédodontistes (31%).	175 omnipraticiens, 511 pédodontistes, 377 endodontistes (taux de participation : 4.3%, 9.4%, 9.1% respectivement)
Stangvaltaite L [64]	Management of pulps exposed during carious tissue removal in adults: a multi-national questionnaire-based survey 10.1007/s00784-016-2023-9	2017	Clin Oral Investig	France, Allemagne, Norvège	Suite article Schwendicke 2015 Evaluation de la prise en charge de l' exposition pulpaire lors du curetage des lésions carieuses profondes questionnaire en ligne	<u>Dans le cas d'une exposition pulpaire</u> : pas de consensus entre les 3 pays coiffage pulpaire direct (68-93%) avec de l'hydroxyde de calcium traitement endodontique (7-22%)	Praticiens libéraux (taux participation 33% en France, 25% en Allemagne, 33% en Norvège)
Nascimento M [96]	Exploring How U.S. Dental Schools Teach Removal of Carious Tissues During Cavity Preparations PMID: 28049672	2017	J Dent Educ	USA	Evaluation des pratiques enseignées sur la prise en charge des lésions carieuses profondes Questionnaire en ligne	Pas de consensus sur la définition de dentine infectée et affectée <u>Prise en charge de lésions carieuses profondes asymptomatiques</u> : - Eviction totale : 14% - Stepwise: 19% - Eviction sélective : 57%	43 enseignants en odontologie conservatrice dans les facultés américaines (taux participation : 79%)
Croft K [89]	Management of deep carious lesions and pulps exposed during carious tissue removal in adults: a questionnaire study among dentists in Finland 10.1007/s00784-018-2556-1	2019	Clin Oral Investig	Finlande	Questionnaire en ligne de 25 questions	<u>Lésion carieuse asymptomatique</u> : 34% de curetage complet, 64% de stepwise ou sélectif <u>Lésion carieuse avec exposition pulpaire</u> : coiffage pulpaire direct (71%), traitement endodontique (26%)	320 dentistes (taux participation : 32%)
Alnahwi TH [90]	Management preferences of deep caries in permanent teeth among dentists in Saudi Arabia 10.4103/ejd.ejd_397_17	2018	Eur J Dent	Arabie Saoudite	Compilation de 4 questionnaires Schwendicke 2013, Weber 2011, Stangvaltaite 2013 et Oen 2007 4 scénarios cliniques (imprécisément repris, ne permettant pas de comparaison) Enquête papier, en personne	<u>Absence de symptômes + absence d'effraction pulpaire</u> : 82% excavation totale, 8% sélectif, 16% stepwise <u>Présence de symptômes (douleur non spontanée) + absence d'effraction pulpaire</u> : 56 % excavation totale, 26% stepwise, 5% sélectif, 12% traitement endodontique <u>Absence de symptômes + risque d'effraction pulpaire</u> : 57% stepwise, 18% sélectif, 18% complete, 6% traitement endodontique <u>Présence de symptômes (douleur non spontanée) + risque effraction pulpaire</u> : 42% traitement endodontique, 38% stepwise, 12% excavation totale, 6% sélectif	177 dentistes (taux participation : 73%)
Crespo-Gallardo I [91]	Dentist's knowledge, attitudes and determining factors of the conservative approach in teeth with reversible pulpitis and deep caries lesions 10.4317/jced.55395	2018	J Clin Exp Dent	Espagne (Séville)	Questionnaire basé sur Weber 2011, Koopaei 2017, Schwendicke 2013, Stangvaltaite 2013 prise en charge des lésions carieuses profondes sur des dents en pulpites réversibles, et items de connaissances sur leurs attitudes dans le cas de lésions carieuses profondes Questionnaire en ligne et en personne	<u>Scénario lésion carieuse profonde +dent asymptomatique</u> : 60% éviction complète (si effraction: 40% coiffage pulpaire direct et 14% traitement endodontique) 28% stepwise 8% éviction sélective <u>3 cas cliniques</u> : <u>CC1 et 2</u> - 70% éviction complète - 20% stepwise - <10% éviction sélective <u>CC3</u> - 30% éviction complète - 30% stepwise - <10% éviction sélective - 30% traitement endodontique	125 dentistes (taux de participation : 67%)

Kakudate N [92]	Dentists' practice patterns of treatment for deep occlusal caries: Findings from a dental practice-based research network 10.1016/j.jdent.2019.03.009	2019	J Dent	Japon	Evaluation des attitudes thérapeutiques dans la prise en charge des lésions carieuses occlusales profondes Réseau DPBRN (questionnaire en ligne)	Prise en charge de lésions carieuses profondes asymptomatiques : - 30% : curetage sélectif - 10% : curetage complet et coiffage pulpaire direct - 40% : curetage complet et traitement endodontique	206 dentistes japonais (taux de participation : 69%)
Chai B [93]	Treatment preferences for deep caries lesions among Australian dentists 10.1111/adj.12740	2020	Aust Dent J	Australie	Questionnaire basé sur Schwendicke 2013 et Stangvaltaite 2013 1 CC avec la radio ci-contre items de prise en charge Questionnaire en ligne	 Réponse au CC : - 85% : curetage sélectif - 15% : curetage complet Les praticiens sont convaincus de la nécessité d'un liner pour diminuer la sensibilité post-opératoire.	255 dentistes (taux de participation : 12.6%)
Sales GC [97]	Are Brazilian dentists and dental students using the ICCC recommendations for caries management? 10.1590/1807-3107bor-2020.vol34.0062	2020	Braz Oral Res	Brésil	Evaluation et comparaison des réponses d'étudiants brésiliens en fin de cursus, et de dentistes brésiliens par rapport aux recommandations (International Caries Consensus Collaboration) Item de prise en charge et 4 cas cliniques: 1 cas de lésion superficielle, 1 cas de lésion profonde, 1 cas de monitoring de restauration avec curetage sélectif, 1 cas de restauration défectueuse Questionnaire en ligne	Les dentistes sont plus conservateurs que les étudiants. Prise en charge de lésions carieuses profondes asymptomatiques : - Eviction complète : dentistes : 20%; étudiants : 46% - Stepwise : dentistes : 37%; étudiants : 37% - Eviction sélective : dentistes : 36%; étudiants : 9%	175 dentistes & 66 étudiants en fin de cursus (taux de réponse inconnu pour les dentistes, taux de réponse des étudiants : 28%)
Careddu R [95]	The management of deep carious lesions and the exposed pulp amongst members of two European endodontic societies: a questionnaire-based study 10.1111/iej.13418	2021	Int Endod J	Irlande et Italie	2 scénarios de lésions extrêmement profondes asymptomatique et symptomatique sur un adulte de 20 ans et de 40 ans Questionnaire en ligne	 Prise en charge en cas d'exposition pulpaire sur dent asymptomatique : - Coiffage pulpaire direct : 53% - Pulpotomie : 26% - Traitement endodontique : 21% Prise en charge en cas d'exposition pulpaire sur dent symptomatique : - Coiffage pulpaire direct : 16% - Pulpotomie : 36% - Traitement endodontique : 48%	120 dentistes membres de la Société Endodontique d'Irlande et d'Italie (taux de réponse : 50%)
Othman NI [98]	The management of deep caries in UK primary care: A nationwide questionnaire-based study 10.1055/s-0040-1721546	2021	Eur J Dent	Malaisie	1 cas clinique Questionnaire en ligne	Prise en charge de lésions carieuses profondes asymptomatiques : Choix du sélectif pour 53% des étudiants	303 étudiants malaisiens (taux de réponse : 32.8%)
Edwards D [94]	The management of deep caries in UK primary care: a nationwide questionnaire-based study 10.1111/iej.13585	2021	Int Endod J	Angleterre	Evaluation de la prise en charge de lésions carieuses profondes Questionnaire en ligne via médias sociaux (facebook), Northern Dental Practice Based Research Network, comités de dentistes locaux	Utilisation de la digue : 29% Utilisation de protection dentinaire en coiffage pulpaire indirect dans 56% des cas (47% CVI-MAR, 20% CVI, 19% silicate de calcium, 16% CaOH) Prise en charge de lésions carieuses profondes asymptomatiques : - Eviction complète : 41% - Stepwise : 14% - Eviction sélective : 41%	657 dentistes travaillant dans le public et le privé (taux de réponse non précisé)

2.2.2 Présentation de l'enquête menée par le CNEOC

Sont repris ici les items principaux du questionnaire :

A propos des critères cliniques du curetage satisfaisant d'une lésion carieuse primaire para-pulpaire : (Tableau 2 correspondant aux items R50, R51 et R56 du questionnaire présenté en annexe 1).

Un curetage satisfaisant d'une lésion carieuse ne se définit pas par la teinte du fond de la cavité. La consistance ou dureté est, elle, plus spécifique [23,99]. Comme vu lors des rappels, la dureté, la couleur et l'humidité du fond de la cavité sont des critères d'aide à un sens clinique qui doit primer. Concernant le curetage, la fraise diamantée n'est pas recommandée ; les techniques de curetage chimio-mécanique n'apportent pas de bénéfice supplémentaire. La digue a largement été adoptée dans les habitudes de soin des étudiants par rapport aux praticiens (96% versus 18%).

Tableau 2. Critères cliniques du curetage satisfaisant d'une lésion carieuse primaire para-pulpaire.

	Traitement proposé par les praticiens français en 2014 (d'après Finet et coll.)	Traitement proposé par les étudiants français de DFAGSO2 en 2018
Consistance du fond de la cavité	Molle (1%) Cuir (25%) Dure (70%) Sans intérêt (4%)	Molle (4%) Cuir (40%) Dure (54%) Sans intérêt (2%)
Teinte du fond de la cavité	Très colorée (brun sombre) (7%) Normale à jaunâtre (36%) Sans intérêt (57%)	Très colorée (brun sombre) (7%) Normale à jaunâtre (53.5%) Sans intérêt (35.8%)
Humidité du fond de la cavité	Très humide (0%) Légèrement humide (8%) Sèche (39%) Sans intérêt (53%)	Très humide (1%) Légèrement humide (12%) Sèche (29%) Sans intérêt (56%)
Outils de curetage	Fraise carbure de tungstène (84%) Fraise céramique (30%) Excavateur (70%) Technique chimio-mécanique (6%)	Fraise diamantée (24%) Fraise carbure de tungstène (85%) Fraise céramique (27.8%) Excavateur (88.7 %) Technique chimio-mécanique (7%)
Autres	Digue (18%) Désinfection (74%) Colorant marqueur de carie (8%)	Digue (96%) Désinfection (82%) Colorant marqueur de carie (11%)

A propos du choix du curetage dans la prise en charge d'une lésion carieuse profonde sur dent asymptomatique (correspondant à l'item R52 et R59 du questionnaire en annexe 1)

- Concernant l'attitude thérapeutique des étudiants français, les notions de préservation tissulaire avec le curetage sélectif (27%) et la technique « stepwise » (19%) (soit 46% d'éviction sélective) sont en cours d'acquisition, même si 54% pratiquent un curetage dentinaire complet basé sur la dureté. En cas d'effraction pulpaire lors du curetage complet, seulement 4% réalisent un traitement endodontique versus 50% un coiffage pulpaire direct, ce qui est, malgré le curetage complet, une avancée vers la préservation pulpaire.

Les étudiants français répondent, comme leurs homologues brésiliens et malaysiens, par le choix du curetage complet lors du traitement d'une lésion carieuse profonde asymptomatique dans environ 50% des cas (Figure 5). Les deux seules autres enquêtes recensées sur un public étudiant ne permettent cependant pas de généraliser.

Les étudiants ont bien intégré (à 79%) qu'une certaine quantité de micro-organismes peut persister car la restauration les scelle hermétiquement (si la périphérie de la restauration est adhésive à de la dentine saine). La notion de préservation du complexe pulpo-dentinaire et la prise en considération du risque d'effraction sont elles aussi bien retenues (à 77%) même si paradoxalement, le curetage complet est encore choisi pour 55% d'entre eux dans cet item (item R59 du questionnaire), réponse en cohérence avec les 54% qui pratiquent l'éviction complète dans l'item précédemment discuté (item R52 du questionnaire).

- Concernant les praticiens, les articles de Weber et coll. 2011, Stangvaltaite et coll. 2013 et Schwendicke et coll. 2013 montrent un écart entre pratique clinique et recommandations, avec une préférence des praticiens brésiliens, norvégiens et allemands pour le curetage complet versus curetage sélectif ou « stepwise » dans la prise en charge des lésions carieuses profondes. Néanmoins, cela reste variable en fonction des nationalités. Notamment, en 2016, Schwendicke et coll. ont montré dans une étude multi-nationale que 84% des Norvégiens choisissent la « stepwise » technique versus les 66% des français et allemands qui choisissent l'éviction complète.

En 2016, Schwendicke et coll. montrent dans une revue systématique que seulement 53% des praticiens pratiquent l'éviction sélective ou la technique « stepwise » [84]. Un classement des pays (figure 5) choisissant l'éviction sélective montre que les australiens sont largement plus préservateurs avec un choix du curetage sélectif pour 85% des praticiens.

Les praticiens ont une réticence à effectuer le curetage sélectif. Les facteurs de résistance seraient une incompréhension de la maladie carieuse, vue encore comme une maladie infectieuse où toutes les bactéries sont pathogènes et devraient être éliminées pour ne pas nuire à la pulpe [84]. Le terme de dentine infectée porte à confusion et devrait être supprimé comme le suggèrent Innes et coll. En 2016, plusieurs auteurs se sont intéressés à cette résistance au changement et à ce gap entre la théorie et l'application réelle [21,100]. La résistance au changement peut s'expliquer par le « don't know, can't do, won't change » [101,102]. Une des réponses au « don't know » est la création de directives claires, telles que celle éditées par l'ICCC ou l'ESE [15,21].

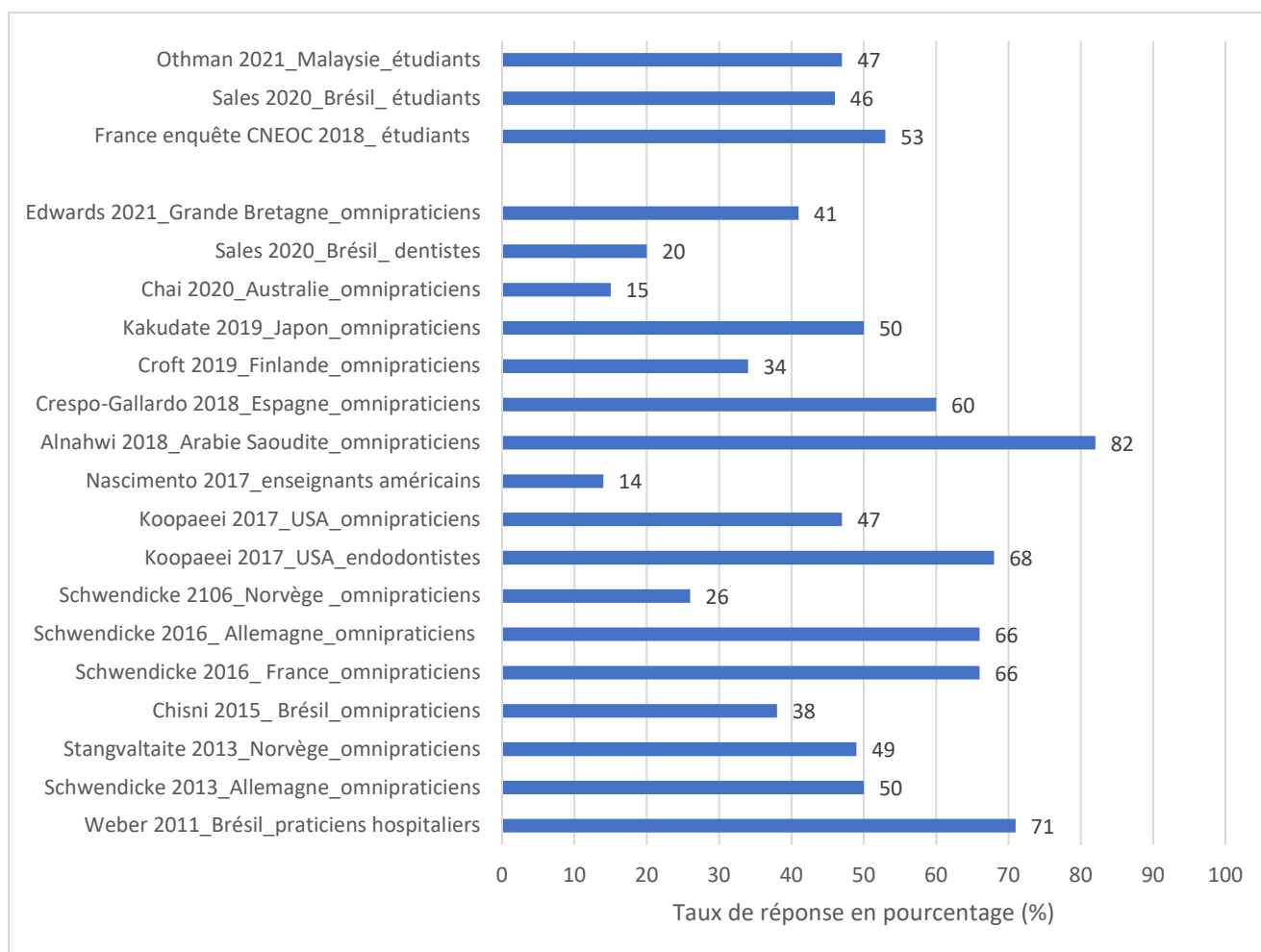


Figure 5. Choix du curetage complet en 1 temps dans les différents pays dans le traitement d'une lésion carieuse profonde asymptomatique sur dent permanente mature.

Dans l'item R54 qui présente deux scénarios de conduite à tenir face à une exposition pulpaire :

- Lors du curetage sur une dent asymptotique chez un patient jeune de 20 ans (scénario 1), la thérapeutique du coiffage pulpaire direct est largement préconisée par les étudiants français (à 93.9%). En effet, Schwendicke et coll. ont prouvé que pour une lésion carieuse profonde occlusale, il est plus « coût-efficace » dans le temps d'effectuer un coiffage pulpaire direct, plutôt qu'un traitement endodontique [103]. Cela n'est pas aussi vrai pour une lésion proximale, où l'asepsie est probablement plus complexe à obtenir. Le coiffage pulpaire direct est rentré dans les pratiques selon les enquêtes répertoriées dans la figure 6.

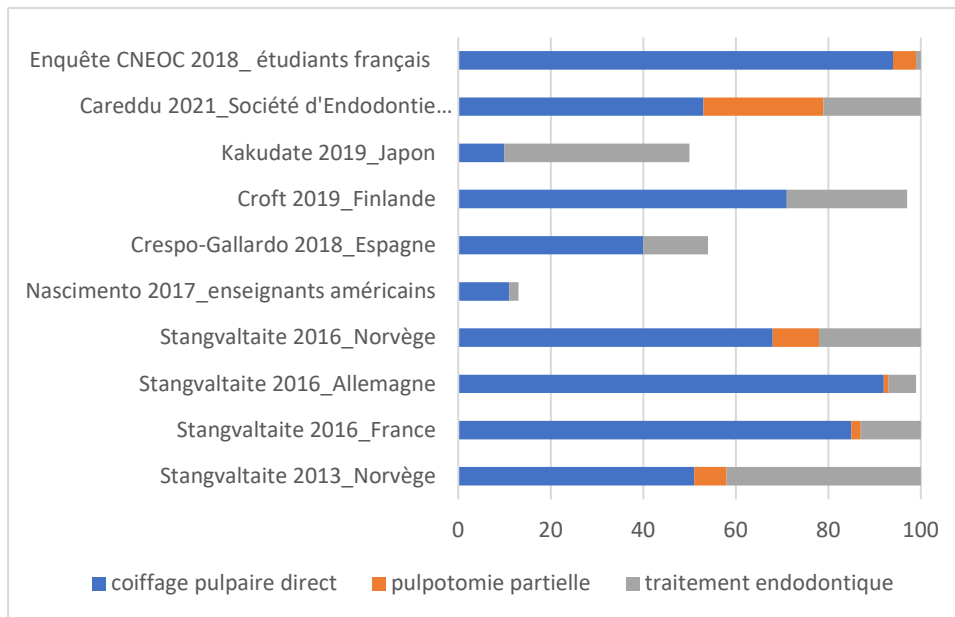



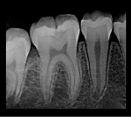

Figure 6. Attitude thérapeutique dans le cas d'une effraction pulpaire dans le traitement d'une lésion carieuse profonde d'une dent asymptotique.

- Lors d'une exposition pulpaire sur une dent symptomatique (« douleur aiguë transitoire ou sensibilité au chaud-froid ») chez un patient jeune de 20 ans (scénario 2), la thérapeutique des étudiants s'oriente majoritairement vers une pulpotomie partielle (54%) ou un traitement endodontique (38%). Ces résultats sont très encourageants en comparaison avec l'étude de Stangvaltaite et coll. qui montre 91% de recours à un traitement endodontique dans la même situation [68]. Une des limites pour la comparaison de ces scénarios est qu'ils ne sont pas repris dans les mêmes termes par tous les auteurs des enquêtes. Stangvaltaite et coll. dans leur scénario définissent une dent asymptotique comme une dent avec absence de douleurs spontanées, mais présence de douleurs provoquées [68]. Alnahwi et coll. redéfinissent la notion de dent symptomatique comme dent présentant aussi des douleurs provoquées [90].

A propos des trois cas cliniques correspondant à l'item 60 du questionnaire en annexe 1 :

Les seuls articles qui reprennent exactement ces trois cas cliniques de lésions carieuses profondes sont ceux publiés par Weber et coll. 2011 et Crespo-Gallardo et coll. 2018. Les diagnostics et traitements des trois cas cliniques sont synthétisés dans le tableau 3 ci-après.

Tableau 3. Diagnostic et traitement des 3 cas cliniques proposés dans le questionnaire, rapportés aux cas cliniques similaires publiés.

	Diagnostic attendu	Traitement attendu	Traitement proposé par les praticiens français Finet et coll. 2014	Traitement proposé par les praticiens hospitaliers brésiliens Weber et coll. 2011	Traitement proposé par les praticiens espagnols Crespo-Gallardo et coll. 2018	Traitement proposé par les étudiants de DFASO2 en 2018
<p>Cas clinique 1</p> 	Pulpite légère ou réversible en présence d'une lésion carieuse profonde	Curetage partiel (jusqu'à la dentine molle en para-pulpaire) ou «stepwise»	Curetage complet :75% « Stepwise » : 21% Curetage sélectif : 3%	Curetage complet : 79% « Stepwise » : 14% Curetage sélectif : 5%	Curetage complet : 60% « Stepwise » : 20% Curetage sélectif : <10%	Curetage complet : 50% « Stepwise » : 20% Curetage sélectif : 25%
<p>Cas clinique 2</p> 	Pulpite légère ou réversible en présence d'une lésion carieuse moyennement profonde à profonde	Curetage partiel (jusqu'à la dentine ferme en para-pulpaire)	Curetage complet : 73% « Stepwise » : 20% Curetage sélectif : 6%	Curetage complet : 80% « Stepwise » : 10% Curetage sélectif : 10%	Curetage complet : 70% « Stepwise » : 20% Curetage sélectif : <10%	Curetage complet :72% « Stepwise » : 10% Curetage sélectif :15%
<p>Cas clinique 3</p> 	Pulpite légère ou réversible en présence d'une lésion carieuse extrêmement profonde	Coiffage pulpaire direct ou pulpotomie	Curetage complet : 19% « Stepwise » : 32% Curetage sélectif : 13% Pulpotomie (non proposé) Pulpectomie : 36%	Curetage complet : 53 % « Stepwise » : 28% Curetage sélectif : 11% Pulpotomie (non proposé) Pulpectomie : 36%	Curetage complet : 30% « Stepwise » : 30% Curetage sélectif : <10% Pulpotomie : 2% Pulpectomie : 30%	Curetage complet : 24% « Stepwise » : 15% Curetage sélectif : 19% Pulpotomie : 23% Pulpectomie : 17%

Concernant les cas cliniques du questionnaire distribué par le CNEOC, les cas 1 et 3 présentent un test thermique de sensibilité pulpaire positif qui ne se prolonge pas au-delà du test, et cliniquement une douleur provoquée au froid ou sucre. Ce sont donc des pulpites légères selon la classification de Wolters. Le cas clinique numéro 2 est une pulpite initiale ou lésion carieuse dentinaire. Les étudiants sont globalement d'accord avec les recommandations sur le diagnostic.

Radiographiquement, le cas numéro 1 est une lésion carieuse profonde (atteinte au-delà du 1/3 dentinaire interne), le cas numéro 2 une lésion moyennement profonde à profonde (atteinte jusqu'au 1/3 dentinaire interne), et le cas numéro 3 une lésion extrêmement profonde (absence d'épaisseur de dentine résiduelle visible).

Selon les recommandations de thérapeutique de préservation de la vitalité pulpaire (rappelées en première partie de ce travail), la lésion profonde (cas clinique numéro 1) devrait se traiter en curetage partiel jusqu'à la dentine molle en para-pulpaire, la lésion moyennement profonde (cas clinique numéro 2) en curetage partiel jusqu'à la dentine ferme en para-pulpaire, et la lésion extrêmement profonde (cas clinique numéro 3) en curetage complet suivi d'une pulpotomie partielle ou complète.

Dans le cas clinique 1 d'une lésion carieuse profonde, les étudiants sont les plus conservateurs avec 50% de curetage sélectif, versus les praticiens français en 2014 qui choisissent le curetage sélectif pour 25%. Les praticiens brésiliens en 2011 avaient adopté la stratégie du curetage complet (79%).

Dans le cas clinique 2 qui semble être une lésion modérément profonde, le curetage complet est adopté à l'unanimité par les 4 enquêtes présentées dans le tableau 3. Une réponse raisonnable serait tout de même un curetage sélectif jusqu'à la dentine ferme en para-pulpaire.

Dans le cas clinique 3 d'une lésion carieuse extrêmement profonde, extensive, le curetage complet est nettement moins choisi par les répondants des 4 enquêtes. La technique « stepwise » et la pulpectomie sont choisies en moyenne à 30% et 35% respectivement, la pulpotomie n'étant pas proposée dans deux des études [65,66]. Chez les étudiants, les réponses sont réparties à peu près également entre le curetage complet, la technique « stepwise », la pulpotomie et la pulpectomie. Les attitudes thérapeutiques sont très divergentes pour ce cas.

Ces trois cas cliniques sont sur des patients avec un bon niveau d'hygiène. Il manque cependant des données per-opératoires, comme la survenue d'une effraction pulpaire ; et, si tel est le cas, l'obtention d'une hémostase ou non, ce qui orienterait la réponse du cas numéro 3, principalement. La proposition de coiffage pulpaire direct n'était pas formellement proposée aux étudiants, même si c'est une forme de pulpotomie superficielle. Certains points sont discutables notamment la profondeur de la lésion du cas numéro 2, et les étudiants qui ont choisi un curetage complet voyaient très certainement une lésion moyennement profonde ou non profonde pour laquelle un curetage sélectif jusqu'à la dentine molle n'était peut-être pas nécessaire.

2.2.3 Intérêt et amélioration de la construction des enquêtes

Ces enquêtes sont des outils importants pour évaluer les pratiques cliniques des chirurgiens-dentistes et des futurs chirurgiens-dentistes que sont les étudiants en chirurgie-dentaire. Elles permettent de mesurer les croyances, les attitudes et les pratiques même si elles sont, comme pour toutes études, sujettes à biais.

Les outils fondés sur preuves cliniques peuvent contribuer à rationaliser une procédure que les auteurs peuvent suivre pour créer des études reproductibles et de meilleure qualité [104]. C'est dans cet objectif qu'ont été proposées, respectivement pour les enquêtes sur papier et les enquêtes en ligne, les recommandations SURGE- **Survey Reporting Guideline** (2014) et CHERRIES – **C**hecklist for **R**eporting **R**esults of **I**nternet **E**-**S**urveys (2004) [105,106]. Néanmoins, celles-ci sont jugées incomplètes notamment parce que les recommandations CHERRIES ne s'appuient pas sur une revue de la littérature et qu'aucune de ces recommandations n'utilise le processus Delphi. Elles sont donc peu utilisées et peu citées [107–109].

Pour y remédier, il a été formé en 2018 un groupe de travail international qui a proposé un nouvel outil, dont l'acronyme est CROSS (**C**onsensus-Based **C**hecklist for **R**eporting **o**f **S**urvey **S**tudies). Cette nouvelle recommandation est basée sur une revue de littérature et sur le processus Delphi c'est-à-dire sur la consultation d'experts. Les résultats de ce travail viennent d'être publiés en mai 2021 [110] et regroupent 40 items proposés à la fois pour les enquêtes sur papier et pour les enquêtes en ligne et répartis sur les différentes sections de l'article à publier (titre, introduction, objectifs, construction de l'étude, collecte des données caractéristiques de la population, considérations éthiques, analyse statistique, caractéristiques des répondants, résultats, limitations, interprétation, généralisation). Si de nouvelles enquêtes devaient suivre celles présentées dans ce travail doctoral, il faudrait engager les auteurs à s'y référer, ce qui renforcerait d'autant plus leur intérêt auprès des praticiens sur leur pratiques, enquêtes souvent très utiles avant d'initier des études cliniques interventionnelles.

3.1 Contexte

Radiographiquement, la limite d'une lésion carieuse profonde est sujette à interprétation. L'appréciation de profondeur de la lésion et surtout la probabilité d'effraction pulpaire lors de son curetage sont actuellement difficiles à pronostiquer. L'objectif de l'étude proposée ci-après était d'évaluer la mise au point d'un nouvel outil prédictif de ce risque d'effraction à partir des radiographies préopératoires.

L'hypothèse de travail était de ne plus seulement utiliser l'épaisseur de dentine résiduelle (EDR) qui est difficile à déterminer sur la radiographie préopératoire en raison des variabilités anatomiques des dents et de leur position sur l'arcade, mais de s'appuyer sur le rapport de l'épaisseur de dentine résiduelle sur l'épaisseur totale de dentine (EDR/EDT), comme mesure de la profondeur de la lésion et par conséquent comme indice prédictif. Ce rapport est détaillé sur la figure 2 de l'article publié ci-après.

Cette démarche s'inscrit dans le cadre d'une étude ancillaire au projet DECAT (PHRCN 2013). Comme pour toutes les études ancillaires liées à ce projet, un appel à participer à un groupe de travail a été lancé auquel j'ai répondu. J'en ai été un des principaux acteurs sous la supervision du Pr Grosogeat et du Dr Pérard. Le groupe de travail a été constitué par 4 évaluateurs, Pr Villat (Université de Lyon), Dr Monsarrat (Université de Toulouse), Dr Turpin (Université de Rennes) et Dr Decup (Université de Paris-Descartes), ainsi que d'une équipe de biostatisticiens avec le Pr Maucort-Boulch, responsable du Service de Biostatistique-Bioinformatique, Pôle santé publique, au sein des Hospices Civils de Lyon et de son ingénieur statisticien, M. Laurent Roche.

3.2 Publication

Ce travail a été lauréat de l'appel d'offre jeune chercheur HCL 2019 et a fait l'objet d'une publication dans Oral Radiology en avril 2021 présentée en annexe 6 [111].

3.3 Discussion

Au-delà du développement d'un nouvel indice radiologique comme prédicteur d'un risque d'effraction pulpaire, nous souhaiterions revenir sur deux notions importantes : la reproductibilité de la mesure et l'amélioration de l'interprétation de la radiographie grâce au contraste.

3.3.1 Reproductibilité de la lecture radiographique

Dans ce travail, un effort particulier a été développé pour essayer de minimiser la variation intra et inter évaluateur pour les mesures du ration EDR/EDT. Compte tenu qu'il y avait 4 évaluateurs engagés dans cette étude, et que nous avons bénéficié d'un soutien important de l'équipe du Pr Maucort Boulch, responsable du Service de Biostatistique-Bioinformatique, Pôle santé publique, au sein des Hospices Civils de Lyon, il a été possible de rechercher les limites d'accord (comparaison des mesures entre 2 évaluateurs) et de mesurer les coefficients de corrélation de concordance (comparaison des mesures des 4 évaluateurs entre eux). De grandes variations de mesure inter-évaluateur ont été mises en évidence ; elles ont été prises en compte dans le calcul de la capacité prédictive d'effraction pulpaire du ratio EDR/EDT.

3.3.1.1 Limites d'accord

Les limites d'accord définissent la variation de mesures d'un ratio faite par 2 évaluateurs. Les limites d'accord définissent les 95% d'accord entre 2 évaluateurs sur une mesure ; elles permettent de voir à quel point les mesures des évaluateurs sont « interchangeables ». Ces accords sont donnés par les analyses de Bland & Altman dont les figures, non publiées, sont présentées ci-dessous.

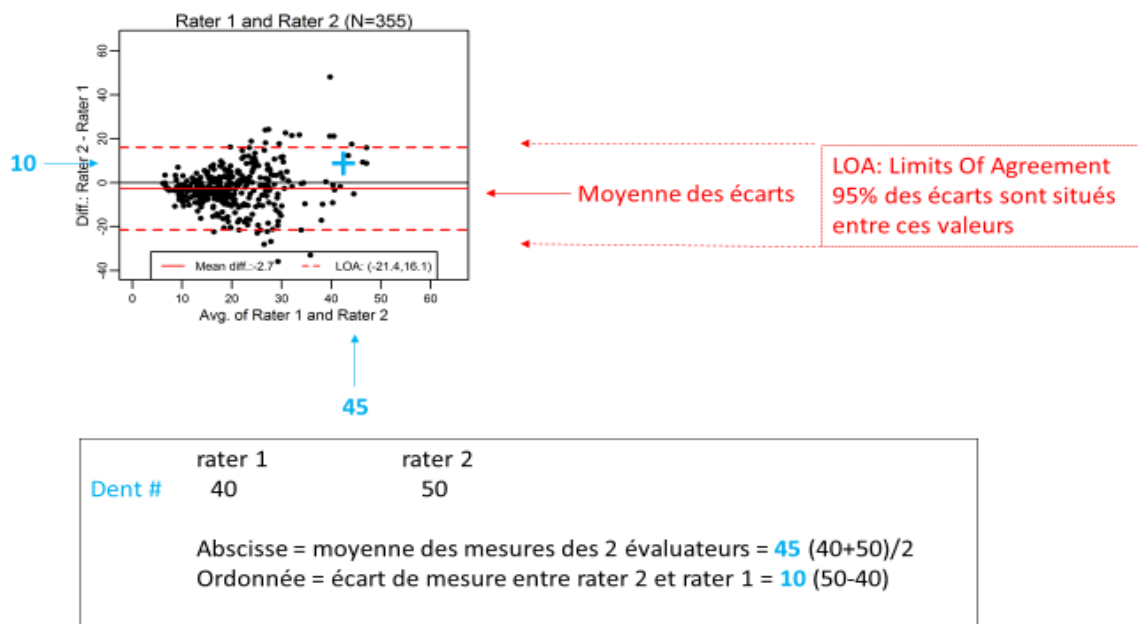


Figure 7. Représentation et définition des limites d'accord inter-évaluateur au travers d'un exemple (comparaison des mesures de l'évaluateur 1 et de l'évaluateur 2).

Sur la figure 7, un point représente un ratio EDR/EDT pour une dent, avec *en abscisse*, la moyenne des mesures des 2 évaluateurs et *en ordonnée*, l'écart de mesure entre 2 évaluateurs (ici l'évaluateur 1 et l'évaluateur 2). La ligne pleine rouge correspond à la moyenne de la différence entre les deux évaluateurs et les traits pointillés rouges représentent les limites d'accord. Si la concordance était bonne entre les 2 évaluateurs, les points devraient se répartir sur la ligne du 0. Ici les limites d'accord sont très éloignées : une grande limite d'accord entre les évaluateurs signifie un faible accord entre les évaluateurs.

Sur cette figure (qui compare les mesures des évaluateurs 1 et 2), les limites d'accord entre les deux évaluateurs (Limits Of Agreement ou LAO) sont entre -21 et 16 ; [LOA (-21 ; 16)]. Par exemple, si l'évaluateur 1 mesure un ratio EDR/EDT=40, la limite d'accord entre les deux évaluateurs nous indique que dans 95% des cas, l'évaluateur 2 mesurerait un ratio compris dans l'intervalle [40-21 et 40 +16].

Les limites d'accord des évaluateurs 2 à 2 (*évaluateur 1 versus évaluateur 2 ; évaluateur 1 versus évaluateur 3 ; évaluateur 1 versus évaluateur 4 ; évaluateur 2 versus évaluateur 3 ; évaluateur 2 versus évaluateur 4 ; évaluateur 3 versus évaluateur 4*) sur radiographies originales non contrastées (dites « standards ») sont représentées figure 8.

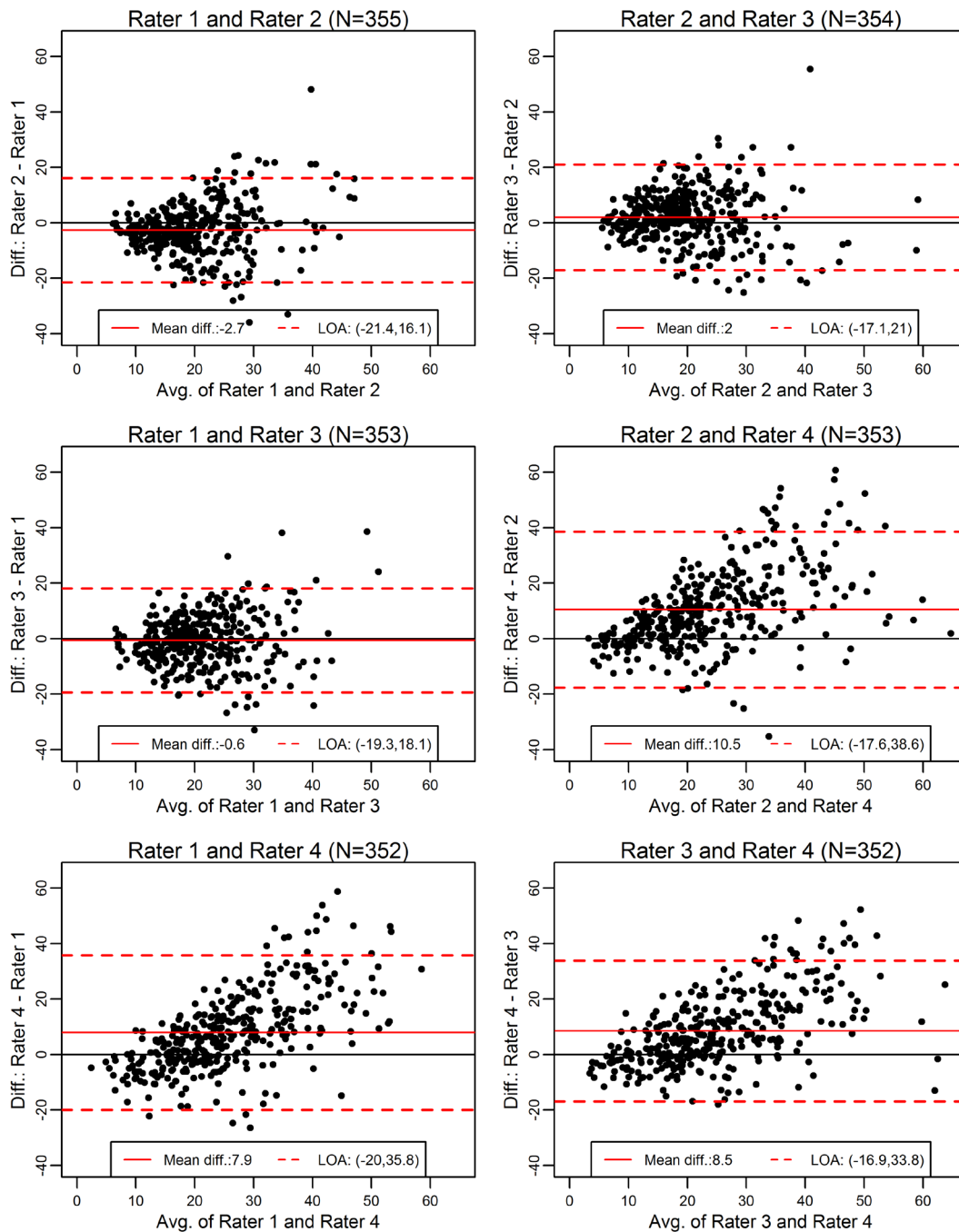


Figure 8. Limites d'accord sur radiographies non contrastées. Graphiques de Bland-Altman de l'EDR/EDT sur radios non-contrastées entre chacune des 6 paires d'évaluateurs : Différence des deux évaluations de l'EDR/EDT en fonction de la moyenne des deux évaluations. Le trait plein rouge correspond à la moyenne des différences sur l'ensemble des dents. Les traits en pointillés correspondent aux limites d'accord à 95% (LOA pour Limits of Agreement).

Sur la figure 8, le couple le plus concordant est le couple d'évaluateurs 1 et 3 avec une moyenne de différences de mesures de presque 0 (0,6 précisément). Le couple le moins concordant entre eux est le couple d'évaluateurs 2 et 4 avec une moyenne de différences de mesures de 10 points et des limites d'accord étendues de -17 à + 36.

3.3.1.2 Coefficient de Corrélation de Concordance

L'accord entre les mesures des 4 évaluateurs est défini par le Concordance Correlation Coefficient ou CCC. Le CCC est un indicateur 'global' de concordance ; il est le produit de deux types possibles de discordance entre deux mesures (figure 9) :

- *L'exactitude* (comprise entre 0 et 1) indique si les distributions 'marginales' des mesures sont identiques et si les moyennes et écarts-types des mesures rapportées par chaque évaluateur sont similaires. Autrement dit, l'exactitude mesure la proximité des valeurs par rapport à une valeur spécifique (qui ici serait la « vraie mesure théorique », soit une moyenne de la mesure des 4 évaluateurs).
- *Le coefficient de précision* (compris entre -1 et 1) correspond au coefficient de corrélation de Pearson. Plus simplement, la précision est la proximité des valeurs entre elles, et mesure leur dispersion.

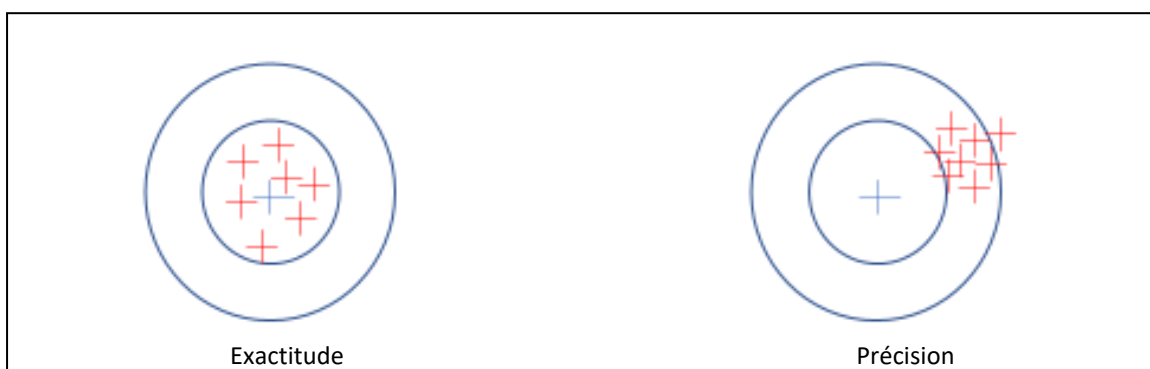


Figure 9. Illustration de l'exactitude (accuracy) et de la précision.

Tableau 4. Accord et concordance inter-évaluateur des mesures de ratio EDR/EDT.

CCC : Concordance Correlation Coefficient.

Radio	CCC	Exactitude	Coefficient de précision
Standard	0,46 (0,40,0,51)	0,93 (0,89,0,95)	0,49 (0,44,0,55)
Contrastée	0,46 (0,40,0,52)	0,94 (0,90,0,96)	0,49 (0,43,0,56)

Tableau 5. Interprétation des valeurs du CCC (d'après de McBride 2005 [112]).

Valeur du CCC	Niveau de concordance
< 0,90	Faible
0,90 – 0,95	Modéré
0,95 – 0,99	Important
> 0,99	Presque parfait

Dans notre étude, le CCC a pour valeur 0,46, ce qui indique un faible accord entre les évaluateurs, mais surtout par une mauvaise précision, l'exactitude entre les évaluateurs étant correcte (cf. tableaux 4 et 5).

De nombreuses études rapportent des variations de mesures inter-évaluateurs [113–115]. Les systèmes d'aide à la lecture automatisée pourraient permettre d'harmoniser cette variabilité inter-évaluateur.

Dans les sources possibles de variation entre 2 types de mesures, il y a aussi la variation intra-évaluateur (à savoir un évaluateur évaluant à nouveau une même radiographie obtiendrait-il le même résultat ?). Cette variation intra-évaluateur a été évaluée sur 30 radiographies lues à 1 mois d'intervalle. Le coefficient de corrélation intra-évaluateur pour la lecture du ratio était en moyenne pour les 4 évaluateurs de 0.80, et respectivement pour les évaluateurs 1, 2, 3 et 4 de 0,77, 0,96, 0,79, 0,72. La valeur du coefficient kappa étant supérieure à 0,75, la concordance est correcte.

3.3.1.3 Prise en compte de l'erreur dans la capacité prédictive du ratio

Outre la faible reproductibilité des mesures entre les évaluateurs, l'interprétation de la radiographie est elle aussi opérateur dépendante. De nombreux auteurs rapportent une sous-estimation de la profondeur estimée sur la radiographie par rapport à la profondeur réelle [47,116]. Ceci a notamment été confirmé par Al Jhany et coll. qui, en comparant l'épaisseur de dentine résiduelle sur la radiographie préopératoire avec l'épaisseur de dentine résiduelle réelle après section de la dent extraite, ont montré que l'EDR sur la radiographie est plus grande que l'EDR réelle [117]. Lancaster et coll. concluent aussi à une surestimation de l'EDR radiographique. Les radiographies sous estiment donc la profondeur réelle des lésions carieuses [118].

Ces études concluent également qu'il est impossible d'estimer précisément l'EDR à partir de la radiographie.

3.3.1.3.1 Choix de la méthode de mesure sous forme de ratio

Suite à une discussion au sein du groupe de travail, les membres ont cherché une solution pour gérer deux écueils. D'une part, la base de radiographies était non standardisée, du fait de la prise des clichés qui est un examen opérateur dépendant où l'incidence du générateur, s'il n'est pas parfaitement perpendiculaire au film, en influence l'interprétation ; et du fait de la multiplicité des centres, les radiographies provenant des 15 centres de l'étude DECAT sont hétérogènes (leur échelle n'était pas toujours disponible et la définition d'un centre à un autre variait en fonction des paramètres de définition d'enregistrement utilisés par chaque centre). D'autre part, afin d'homogénéiser le type de dents étudiées et de s'affranchir des différences d'épaisseurs de dentine résiduelle liées à la morphologie des molaires et prémolaires incluses, l'idée d'un ratio a été retenue.

Le ratio permet de standardiser la profondeur de la lésion, quelle que soit la taille réelle absolue de la lésion, qui ne sera pas mesurée uniquement par une épaisseur de dentine résiduelle mais rapportée à l'épaisseur de dentine totale. Le ratio permet aussi de s'affranchir de l'unité de départ de mesure sur

les radiographies. De plus, il permet de linéariser les mesures puisque non dépendant de la population. Il sera plus facilement applicable en clinique qu'un seuil (ou une mesure), qui en pratique n'est pas aussi binaire qu'en théorie. La mesure quantitative a été faite à l'aide du ratio de l'épaisseur de dentine résiduelle (EDR) rapportée à l'épaisseur de dentine totale (EDT).

Bjørndal et coll. avaient utilisé ce type d'approche pour une toute autre raison lors d'un essai randomisé : le ratio était pour eux garant de l'inclusion de dents avec des lésions carieuses suffisamment profondes [55]. Ils ne l'ont pas utilisé exactement dans le même sens : ils rapportent l'Épaisseur de Dentine Cariée à l'Épaisseur de Dentine Totale, soit AB/AC sur la figure 10.

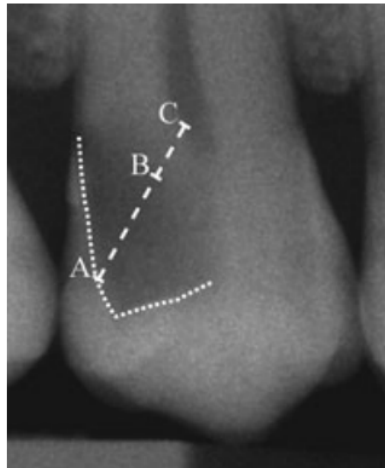


Figure 10. Illustration du ratio utilisé par Bjørndal et coll. en 2010.

L'objectif principal de cette étude ancillaire à DECAT était donc de définir et d'évaluer un nouveau moyen de prédire le risque d'effraction pulpaire, en utilisant non plus simplement l'EDR qui est difficile à évaluer sur la radiographie préopératoire en raison des variabilités anatomiques des dents et de leur position sur l'arcade, mais plutôt à l'aide du calcul d'un ratio en rapportant l'EDR sur l'EDT.

3.3.1.3.2 Capacité métrologique du ratio EDR/EDT

Les variations inter évaluateurs sont intéressantes et révélatrices d'une difficulté d'évaluation et de mesure sur les radiographies, d'un évaluateur à un autre. Chaque évaluateur évalue la profondeur de la lésion carieuse de manière subjective en interprétant les niveaux de gris.

Pour évaluer la capacité prédictive d'effraction pulpaire du ratio, il a été décidé de prendre en compte l'erreur de mesure. En effet, la différence de probabilité d'effraction entre un évaluateur et un autre ne permet pas de généraliser et conclure sur la capacité prédictive du ratio en général. La capacité prédictive du ratio mesuré par chaque évaluateur sur radiographie standard et contrastée, a été mesurée lors d'analyses préliminaires. Le ratio EDR/EDT est une variable dite « explicative » : il est cherché à expliquer le risque d'effraction pulpaire par le ratio EDR/EDT. Quand une variable explicative est mesurée avec imprécision, l'estimation de l'effet de cette variable est atténuée si l'erreur de mesure n'est pas prise en compte : on parle d'un effet *régression-dilution* (par ex., Carroll et coll. 2006).

Une analyse principale regroupant les ratios de 4 évaluateurs a donc été réalisée pour prendre en compte l'erreur de mesure. Le modèle de cette analyse est représenté dans les figures 3 et 4 de la publication présentée ci-avant. Pour résumer, ce modèle prend en compte l'erreur de mesure de chaque évaluateur et portant sur l'ensemble des mesures rapportées par les 4 évaluateurs, fusionne les 4 ratios en un « ratio latent » et permet d'obtenir un ratio prédictif de l'effraction pulpaire.

La mesure du risque d'exposition pulpaire est proposée sous la forme d'un odds-ratio : le risque d'effraction (odds) est multiplié par la valeur de l'odds -ratio. L'odds est une cote. C'est le rapport de la probabilité d'échec sur la probabilité de succès, soit le nombre d'effractions pulpaires rapporté au nombre de pulpes indemnes d'effraction. Ce rapport de cote est un coefficient multiplicateur de risque qui mesure l'effet du ratio : le risque est multiplié par la valeur du rapport de cote. Pour rappel, il diffère de la probabilité d'effraction, qui est le rapport du nombre de pulpes avec effraction sur le nombre total de pulpes étudiées.

Le ratio est prédictif du risque d'effraction pulpaire : quand le ratio diminue, le risque d'effraction pulpaire augmente. Plus précisément, quand le ratio EDR/EDT diminue de 10 points (10 points=10% d'EDR/EDT), la probabilité d'effraction pulpaire (odds-ratio) est de 2,57 sur radiographies standards. Autrement dit, quand le ratio diminue de 10 points sur radiographies standards, le risque d'effraction pulpaire est multiplié par 2,57 sur radiographies standards. Ces résultats sont présentés dans la table 3 de la publication présentée ci-avant.

3.3.2 Apport du contraste

3.3.2.1 Sources d'erreurs en radiologie

La détection et la recherche visuelle sont caractérisées par 3 étapes [119]. La première étape est une première impression globale quasiment automatique qui dure ¼ seconde, et qui compare la donnée visuelle avec l'image visuelle théorique. La deuxième étape est un balayage plus attentif et se focalise sur les détails. La troisième étape est la prise de décision diagnostique. Les experts fixent plus rapidement l'anormalité sur une image lors de l'étape numéro une, contrairement aux novices qui se trompent sur la première impression et bloquent sur une recherche séquentielle attentive de tout l'environnement [120]. Selon Geibel et coll., des évaluateurs avec de l'expérience ont 4 fois plus de chance de détecter des lésions carieuses que ceux moins expérimentés [121].

Les erreurs de diagnostic en radiologie sont pour 80% des erreurs perceptuelles, c'est à dire des échecs de détection (non détection d'une fracture par exemple), donc des faux négatifs [122]. Les 20% d'erreurs restantes sont des erreurs d'interprétation, avec un diagnostic incorrect. Les erreurs perceptuelles sont dues soit à une insuffisance de connaissances, soit à un schéma de recherche visuel insuffisant.

Les illusions d'optique et la difficulté à distinguer les niveaux de gris sont une source d'erreur diagnostique en radiologie. La loi du contraste simultané a été énoncée par Chevreul en 1839 et stipule que la perception des niveaux de gris ne s'effectue qu'en comparaison avec les zones voisines. Deux couleurs juxtaposées ne sont vues de manière différente que lorsqu'elles sont vues séparément sur un fond neutre commun. Sur la figure 11, à première vue, le carré central de luminosité moyenne paraît plus clair sur le fond sombre et plus foncé sur le fond clair. En réalité, le carré central de gauche est plus foncé que le carré central de droite. Les deux carrés l'un au-dessus de l'autre dans le secteur de

droite ont la même luminance (sensation visuelle de la luminosité d'une surface), et apparaissent aussi clairs l'un que l'autre, car ils sont vus sur le même fond clair.

Cette loi illustre le problème de lecture et d'interprétation des différents niveaux de gris sur une radiographie.

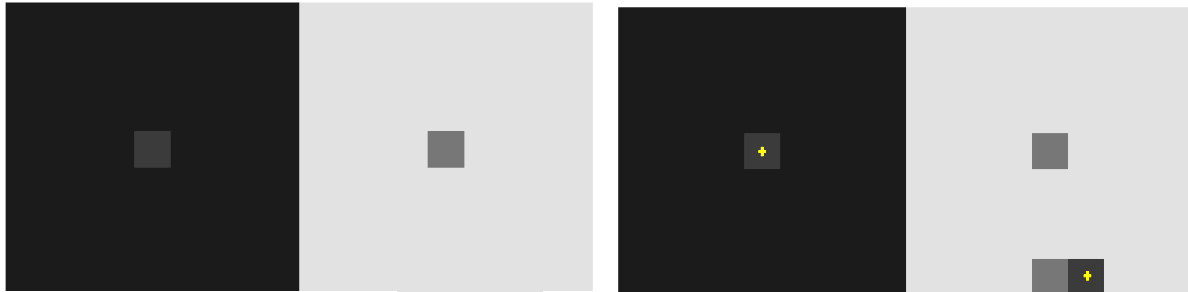


Figure 11. Illustration de la loi du contraste simultané.

La loi du contraste simultané est à l'origine de l'effet « bandes de Mach » (ou illusion de Chevreul). Les bandes de Mach désignent un phénomène optique de rehaussement des bords dû à l'inhibition latérale de la rétine [123]. Il s'agit d'un mécanisme de renforcement de la détection des contours intégrés à la rétine, dans lequel les bords d'objets plus sombres situés à côté d'objets plus clairs apparaissent plus clairs et vice versa, créant ainsi une fausse ombre. Par exemple, un amalgame à côté d'une dent naturelle laisse apparaître une zone plus radio-transparente que réellement sur la dent naturelle adjacente, soit un faux positif (ou artefact radiologique).

3.3.2.2 Traitement d'amélioration numérique des images

Le traitement d'amélioration numérique des images (ou digital enhancement) est largement utilisé dans les logiciels de visualisation d'images, afin d'essayer d'en améliorer l'interprétation. Une image digitale peut être traitée numériquement. L'objectif principal du traitement numérique est de modifier les attributs physiques d'une image pour la rendre plus lisible pour un évaluateur particulier ou une tâche donnée [124]. Les filtres sont des outils dérivés des algorithmes de traitements d'images et sont inclus dans les logiciels d'analyse d'images [125].

Il existe deux principaux types de filtres :

- filtres pour enlever le bruit (filtre d'accentuation ou smoothing ou sharpen filter)
- filtres pour contraster ou rehausser (filtre de rehaussement ou d'accentuation des bords ou edge enhancement filter)

Le filtre de contraste peut modifier l'image d'entrée ou image originale et compenser des pertes de qualité d'image liées à une sur ou sous exposition, en produisant une image de sortie ou image filtrée [126]. La littérature montre que, soit ces filtres améliorent la précision de détection des caries [127–130] (avec un peu plus de faux positifs pour le diagnostic des lésions débutantes), soit montrent une efficacité similaire [131–133] (cf. tableau 6). Dans ce travail, un rééchantillonnage a été effectué à l'aide du logiciel ImageJ avec pour objectif de diminuer le nombre de niveaux de gris perceptibles sur l'image, afin d'en améliorer l'interprétabilité. Les nuances de gris de la dent étudiée sont rééchantillonnées sur l'ensemble du spectre visible par l'œil humain (à savoir que tout ce qui est plus foncé que la lésion carieuse sera noir et tout ce qui est plus clair que l'émail sélectionné sera blanc). La radiographie apparaît ainsi plus contrastée.

Tableau 6. Apport des filtres dans la précision du diagnostic.

	Type d'étude	Traitement numérique	Détection	Validation	Résultats
Neutres					
Belèm et coll. 2013	In vitro Déméralisation proximale induite	Radiographie numérique avec filtre de contraste Objectif : augmenter la sensibilité de la radiographie rétrocoronaire qui est mauvaise sur des lésions débutantes (mais a une bonne spécificité)	Lésions carieuses proximales non cavitaires	Tests de microdureté	Aide à la détection des lésions carieuses débutantes, mais non significatif
Haak et coll. 2001	Dents avulsées	Comparaison de radiographies rétrocoronaires numériques et contrastées Filtre de contraste spécifique à une tâche donnée	Lésions carieuses cavitaires et non cavitaires	Visualisation macroscopique de la cavitation	Pas de différence significative mais gain de temps, amélioration de l'exactitude du diagnostic
Nascimento et coll. 2018	Dents avulsées	4 filtres de luminosités et contraste : (-30% luminosité ; + 30% contraste) (-15% luminosité ; + 15 % contraste) (+ 15 % luminosité ; -15% contraste) (+ 30 % luminosité ; -30% contraste) et l'image initiale sont comparés, Format TIFF. Temps d'exposition : 0.063sec	Lésions non cavitaires	Images de microtomographie	Le filtre n'a aucune influence dans la détection des lésions non cavitaires, la radiographie intra-orale a une mauvaise exactitude dans la détection des lésions non cavitaires (sensibilité faible, spécificité haute) Préférence des évaluateurs pour le filtre -30% de luminosité, + 30% de contraste
Améliore la précision du diagnostic					
Kajan et coll. 2015	In vitro 48 dents extraites	Un filtre pour enlever le bruit et un filtre de grossissement (x3)	Lésions carieuses proximales non cavitaires	Coupe histologique	Amélioration de l'exactitude du diagnostic et de l'accord inter-évaluateur
Møystad et coll. 1996	In vitro 50 dents extraites	Radiographies contrastées	Lésions carieuses proximales	Microscopiquement	Le contraste améliore la précision du diagnostic
Seneadza et coll. 2008	In vitro 44 dents extraites	6 radiographies par dent avec et sans filtre et filtre de diffusion dans les tissus mous Avec exposition normale (0.32 sec) et sous-exposée (0.16 sec).	Mesure de la profondeur des lésions carieuses interproximales	Coupe histologique	Le type de lésion (amélaire ou dentinaire) influence significativement la validité de la mesure : les lésions amélaire sont moins sous estimées que les lésions dentinaires
Shokri et coll. 2018	In vitro 120 dents extraites	Radiographies initiales, trois filtres de contraste, un filtre pour enlever le bruit Exposition : 60 kVp, 7 mA, and 0.1 sec	Lésions occlusales et proximales amélaire et dentinaires créées artificiellement	Coupe évaluée par stéréomicroscopie	Les filtres de contraste augmentent la sensibilité de détection, mais diminuent la spécificité (plus de faux positifs pour les lésions débutantes) Les <i>filtres de contraste</i> détectent avec une meilleure exactitude par rapport au <i>filtre qui enlève le bruit</i> (statistiquement significatif) L'efficacité des filtres de contraste est plus importante dans la détection des lésions peu profondes. Le filtre de contraste n'améliore pas la détection des lésions dentinaires

L'hypothèse que le contraste pouvait augmenter le niveau d'interprétation des radiographies a été émise. L'objectif secondaire était d'évaluer si le ratio mesuré sur radiographie contrastée modifie la prédiction de l'effraction pulpaire. La réponse sera développée en 4 points.

Point numéro 1 : les valeurs mesurées sur radiographies contrastées sont inférieures à celles mesurées sur radiographies standards.

Les valeurs d'EDR et celles d'EDT sont globalement inférieures, quand elles sont mesurées sur radiographies avec contraste. Les valeurs des ratios EDR/EDT mesurées sur radiographies avec contraste sont moins élevées que celles mesurées sur radios sans contraste (mesures rapportées dans la table 2 de la publication présentée ci-avant). Cette différence de mesure est statistiquement significative, confirmée par un test de comparaison de moyenne (p-value < 0,001, indiquant que le ratio sur radiographies contrastées est bien inférieur pour au moins un évaluateur).

Point numéro 2 : le contraste permet-il d'améliorer l'accord et la concordance inter-évaluateur ?

L'application de contraste ne détériore pas l'accord inter-évaluateur (gain nul ou très limité pour l'accord inter-évaluateur sur les analyses de Bland & Altman, cf. figure 12), mais ne semble pas non plus améliorer clairement la concordance (CCC très similaire entre radios non-contrastées et contrastées, cf. tableau 4 déjà présentée plus haut pour le CCC sur radiographies standards).

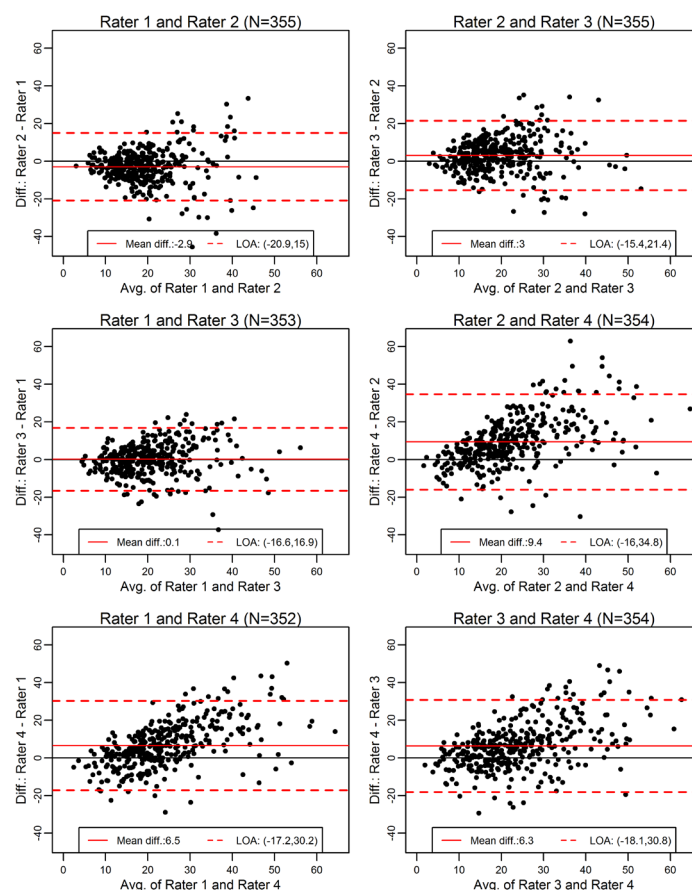


Figure 12. Limites d'accord sur radiographies contrastées. Graphiques de Bland-Altman de l'EDR/EDT sur radios contrastées entre chacune des 6 paires d'évaluateurs : différence des deux évaluations de l'EDR/EDT en fonction de la moyenne des deux évaluations. Le trait plein rouge correspond à la moyenne des différences sur l'ensemble des dents. Les traits en pointillé correspondent aux limites d'accord à 95% (LOA pour Limits of Agreement).

Point numéro 3 : accord radiographies contrastées versus non contrastées.

Dans le cadre de notre étude, des analyses de Bland & Altman et coll. ont été réalisées, séparément par évaluateur, pour évaluer les différences de mesures effectuées sur radiographies contrastées et sur radiographies non-contrastées. Les mesures sur radiographies contrastées et non contrastées ne sont pas équivalentes. Globalement, l'accord du ratio EDR/EDT entre les mesures rapportées sur radios non-contrastées et sur radios contrastées est faible, ce qui montre que le contraste modifie l'interprétation. Ces analyses sont résumées dans la figure 13 ci-dessous.

Les études de concordance montrent que l'accord est faible (donc que les 2 mesures contrastées et non contrastées ne sont pas interchangeables) mais leur limite est qu'elles ne permettent pas de conclure sur l'aspect qualitatif (quelle est la meilleure méthode de mesure, avec ou sans contraste ?). Pour cela, il faudrait se positionner par rapport à une référence (ou gold standard).

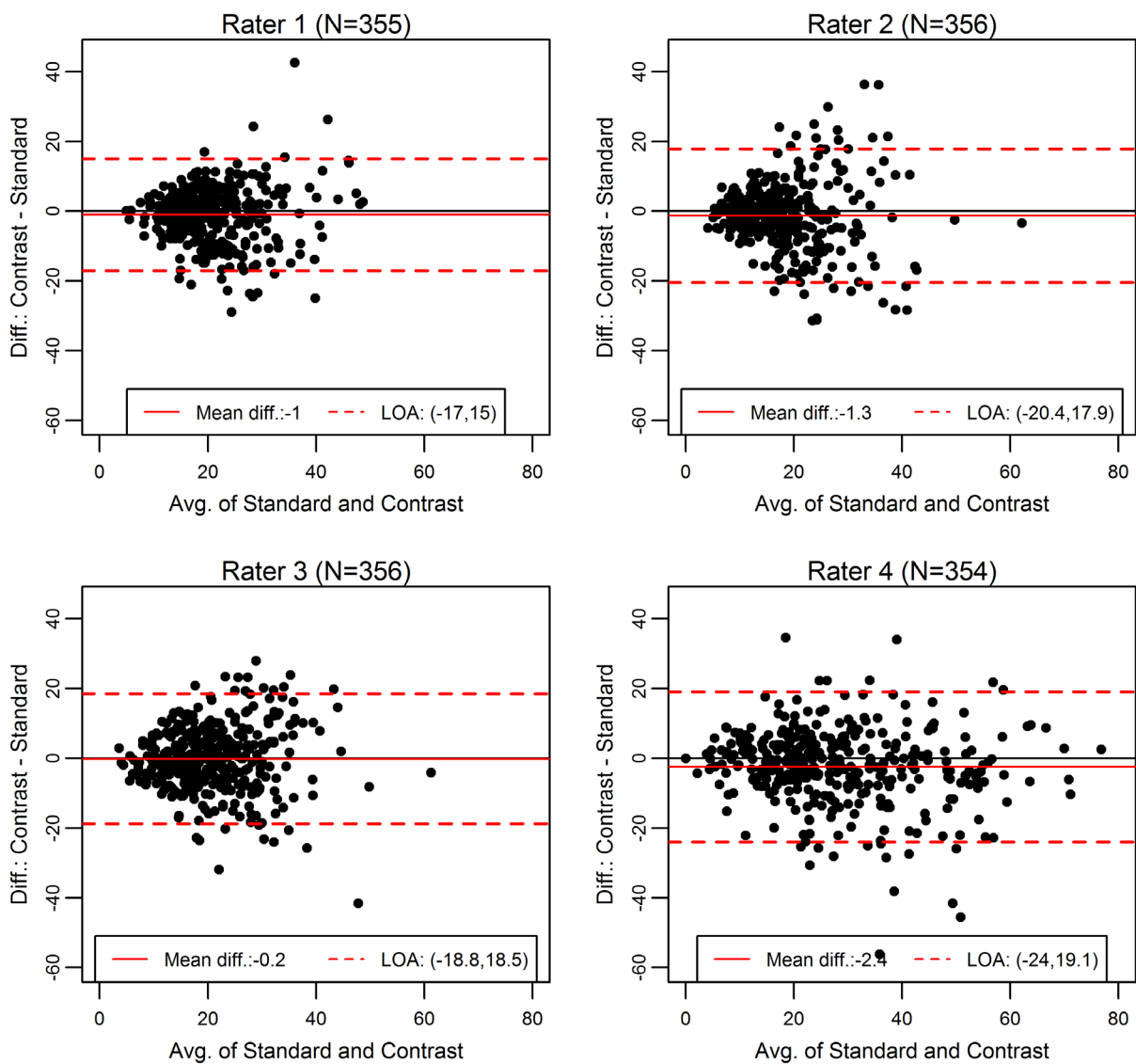


Figure 13. Comparaison de la différence des limites d'accord des mesures des radiographies standards et contrastées.

Point numéro 4 : le ratio sur radiographies contrastées possède-t-il des capacités prédictives différentes du ratio sur radiographies non contrastées ?

La capacité prédictive du ratio mesurée sur radiographies contrastées par les 4 évaluateurs a été étudiée et pondérée par l'erreur de mesure globale, tout comme pour le calcul de la capacité prédictive du ratio sur radiographies standards. L'odds-ratio pour 10 points sur radiographies contrastées est de 4,15. Autrement dit, quand le ratio diminue de 10 points sur radiographies contrastées, le risque d'effraction pulpaire est multiplié par 4,15. Ces résultats sont présentés dans la table 3 de la publication présentée ci-avant. Ceci montre l'intérêt d'un contraste sur les radiographies pour mieux prédire le risque d'exposition pulpaire.

Pour autant, nous ne pouvons pas conclure sur les capacités prédictives du ratio entre les radiographies contrastées et non contrastées. Pour prouver que le contraste a un intérêt, il faudrait :

- comparer les odds-ratio de radiographies contrastées et non contrastées. Cela n'était pas possible dans le cadre de ce travail car la population étudiée dans le cadre de l'étude DECAT présentait trop peu de cas d'expositions pulpaires. La différence mise en évidence ne serait donc pas significative.
- une évaluation de la lecture de radiographie contrastée pour chaque évaluateur : chaque évaluateur devrait scorer plusieurs fois la même radiographie contrastée et non contrastée.

La solution pour diminuer les erreurs de mesure n'est peut-être pas le contraste. Pour rappel le contraste est l'objectif secondaire (l'objectif principal étant la propriété métrologique du ratio).

4.1 Contexte

Comme nous venons de le voir, la variabilité de lecture inter-évaluateur semble inéluctable lors de l'interprétation radiographique. Le contraste à lui seul ne suffit pas pour diminuer les erreurs de lecture. En collaboration avec Emmanuel Roux, Fabien Millioz, membres du laboratoire CREATIS (Centre de Recherche en Acquisition et Traitement de l'Image pour la Santé), un laboratoire spécialisé dans le traitement de l'image, et des stagiaires de Master 2, Francis Kempnaers et Chaimae Fassi-Fihri, il a été proposé un projet d'élaboration d'un algorithme de lecture et d'analyse automatisées de la base radiographique de lésions carieuses profondes annotées.

4.2 Définitions

Ce domaine étant moins familier à notre pratique, il a été choisi de présenter, avant d'aborder le travail expérimental, les méthodes d'apprentissage automatisées et leurs domaines d'application en odontologie (figure 14).

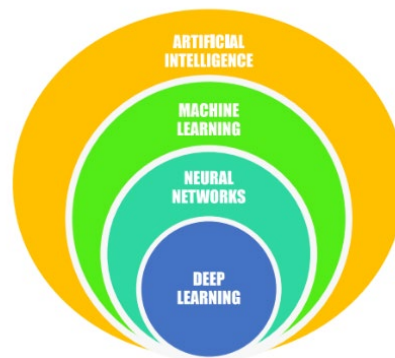


Figure 14. Les différents sous-domaines de l'intelligence artificielle (d'après Khanagar).

4.2.1 Intelligence artificielle (IA)

John McCarthy instaura le terme « intelligence artificielle » en 1955. Le terme intelligence artificielle renvoie à l'idée que des machines sont capables d'accomplir des tâches humaines, et sont dotées d'une forme d'auto-intelligence qui s'acquiert avec de la donnée. L'IA est la compilation d'algorithmes qui permettent aux ordinateurs d'apprendre au travers de l'analyse de bases de données et de prédire des résultats sur la base de cet ensemble de données.

4.2.2 Apprentissage automatique (machine learning)

Le machine learning (ML) apprend, à partir des motifs (ou « patterns ») et structures intrinsèques à la donnée (entraînement), à faire des prédictions sur des données non vues. Contrairement à un programme informatique traditionnel, le machine learning ne suit pas d'instructions ou de programmes externes mais apprend à partir de l'expérience. Ses performances vont s'améliorer au fur et à mesure qu'il est exposé à des données et qu'il ajuste ses paramètres lors de la phase d'apprentissage.

Les algorithmes de machine learning peuvent être de deux types : supervisés (données labellisées) ou non supervisés (données non labellisées).

- Les modèles de machine learning supervisés comparent les labels obtenus par le réseau avec les labels de la vérité terrain (ou référence de l'expert). Les labels obtenus par le réseau sont une classification binaire dans une catégorie 0 ou 1. Lors d'une segmentation, le label obtenu est également binaire avec 1 l'objet annoté par une box d'intérêt, 0 le fond.
- Les modèles de machine learning non supervisés regroupent les données non labellisées sans avoir d'indication sur comment regrouper car il n'y a pas de labels vérité terrain. Les modèles utilisés sont le regroupement (ou clustering) et la réduction des dimensions (élimination ou extraction de caractéristiques).

Des exemples du machine learning sont : la reconnaissance vocale, les suggestions dans les moteurs de recherche, la détection d'images ou la détection de fraudes.

4.2.3 Réseau de neurones et apprentissage profond

L'apprentissage profond est une technique d'apprentissage automatique utilisant des opérations mathématiques multicouches permettant l'apprentissage et l'inférence sur des données complexes comme l'imagerie. L'objectif de l'apprentissage profond est de construire un réseau de neurones qui identifie automatiquement des modèles pour améliorer la détection de certaines caractéristiques. Les réseaux neuronaux sont un ensemble d'algorithmes qui calculent des signaux via l'intermédiaire de neurones artificiels. Le terme apprentissage profond signifie qu'il y a de nombreuses couches dans le réseau. Yann LeCun, directeur du laboratoire d'intelligence artificielle de Facebook a été pionnier dans la mise en place des réseaux de neurones [134].

Un réseau de neurones est composé de plusieurs couches de neurones. Le neurone artificiel est une fonction mathématique, qui met en relation une entrée x avec une sortie y . La première couche est la couche d'entrée (input), puis viennent les couches cachées, puis la couche de sortie (output). Un réseau de neurones est dit profond quand il est composé d'au moins deux couches cachées. Chaque neurone est entièrement connecté à la couche précédente (« fully connected »). Chaque couche a une entrée à laquelle elle applique une combinaison d'opérations mathématiques pour à la fin renvoyer un résultat. Ce résultat devient ensuite l'entrée de la couche suivante qui à son tour appliquera une série d'opérations mathématiques pour donner une nouvelle sortie et ainsi de suite. A l'entrée du réseau, peuvent être soumis une image, une vidéo, un texte, etc. A sa sortie, dans le cas d'un problème

de classification, le réseau propose une probabilité que notre document soumis à l'entrée appartienne à une certaine catégorie. Les données passent plusieurs fois dans le réseau de neurones pendant une phase d'entraînement, et les paramètres du modèle (ou poids) sont ajustés jusqu'à ce que le modèle ait de bonnes performances.

En imagerie, les réseaux de neurones convolutifs (ou Convolutional Neural Networks, CNNs) sont le plus souvent utilisés et ils sont capables d'extraire des caractéristiques comme les angles, les coins, les formes et des motifs macroscopiques. Une nouvelle discipline est née décrite initialement par Kumar et coll. en 2012 [135] : les « radiomics » ou l'étude, l'extraction et l'analyse de caractéristiques radiographiques à l'aide de l'intelligence artificielle. Cette aide de l'intelligence artificielle dans la lecture des données nécessite un bon niveau de prétraitement des données, afin que les algorithmes d'apprentissage profond puissent les analyser.

Il existe deux types de réseaux de neurones : les réseaux de neurones à apprentissage non supervisé, qui ne sont pas utilisés pour la classification ; et les réseaux de neurones à apprentissage supervisé. Concernant les réseaux de neurones à apprentissage supervisé, lors de la phase d'apprentissage, le réseau s'entraîne avec un set d'entraînement de données labellisées. L'algorithme apprend à prédire la sortie à partir de l'entrée en deux étapes.

- Lors d'une première étape, le réseau travaille d'abord dans une phase de propagation en aval (feed forward) :

Des valeurs sont données aux neurones en entrée et sont multipliées par un poids (ou pourcentage de connexion entre deux neurones) choisi de façon aléatoire. Puis, la valeur est ensuite traitée par le neurone selon la fonction d'activation du réseau, fonction non linéaire qui représente une activation ou non du neurone : elle annule l'entrée lorsque celle-ci est négative et par conséquent le neurone n'est pas activé ; à l'opposé, elle garde l'entrée lorsque celle-ci est positive et donc le neurone est activé.

- Lors d'une seconde étape, le réseau travaille dans une phase de rétro-propagation (back propagation) :

La fonction d'erreur du réseau dépend de la différence entre la sortie donnée par le réseau (le label qu'il a donné à l'image) et la réponse attendue (le label donné au départ ou vérité terrain). Si l'erreur est proche de zéro, le réseau a correctement répondu. Si l'erreur est plus grande, les poids du réseau vont être modifiés par rétro-propagation (back propagation) de l'erreur. Le deep learning est donc capable d'extraire des caractéristiques tout seul grâce à la rétropropagation de l'erreur.

La différence entre le machine learning conventionnel et le deep learning est que les algorithmes de deep learning ne nécessitent pas une étape intermédiaire d'extraction des caractéristiques pour apprendre la relation entre l'entrée et la sortie [136]. Les réseaux de neurones profonds se passent ainsi de l'abstraction de l'image et donnent l'image labellisée et non annotée sous forme brute au réseau. Ce sont les couches supérieures de l'algorithme qui extraient les caractéristiques.

4.3 Domaines d'application de l'intelligence artificielle

4.3.1 Applications en odontologie

L'apport de l'intelligence artificielle dans le monde médical se présente comme une aide au diagnostic : par exemple, en dermatologie, pour la détection des cancers de la peau ; en ophtalmologie, pour la détection et discrimination des différents type de rétinopathies ; en cancérologie, pour la détection des cancers du sein sur des mammographies [137–139]. Et cet apport devient plus important de jour en jour y compris en odontologie.

Depuis 1999, 25% des études publiées concernent l'optimisation de l'imagerie, 17% en odontologie, 13% pour l'implantologie et la chirurgie orale, et 12% les cancers oraux (Figure 15). Après 2017, le nombre de publications a notablement augmenté concomitamment avec l'arrivée des réseaux de neurones.

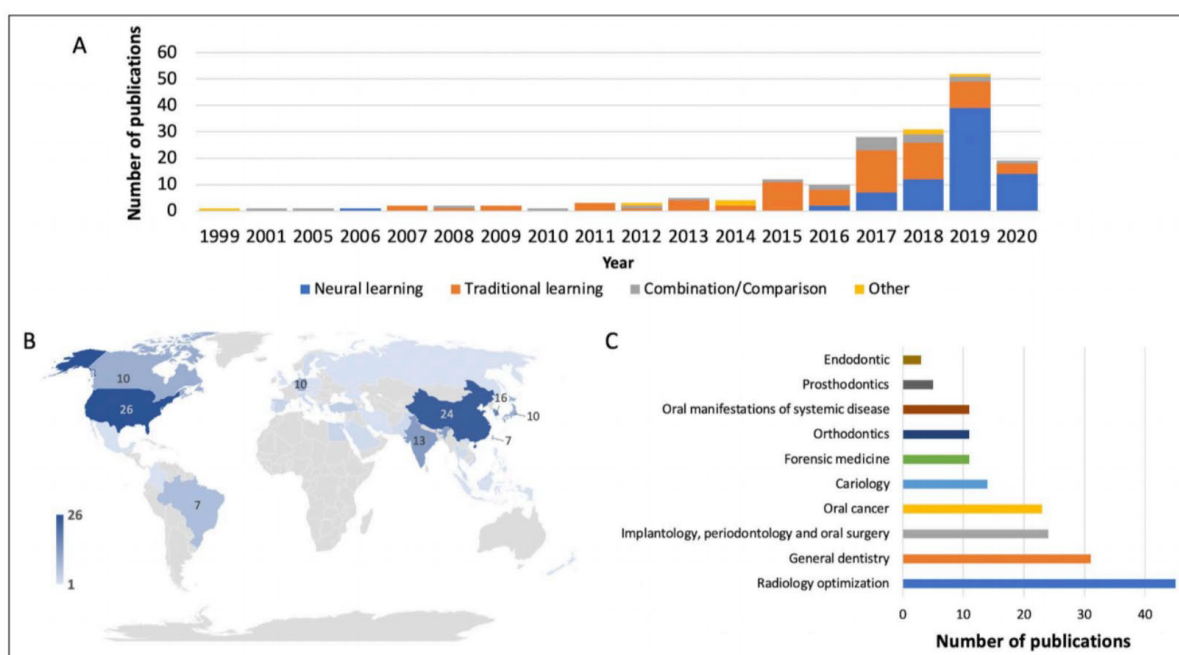


Figure 15. Tendances actuelles dans les domaines d'application de l'intelligence artificielle en odontologie.

- A. Evolution chronologique du nombre de publications à visée de recherche dentaire, B. Répartition géographique des études, C. Applications de l'intelligence artificielle à différents domaines en odontologie, d'après Mörch et coll.

Les applications les plus connues dans le domaine de l'odontologie sont la détection, la segmentation et la classification. La segmentation est la distinction des structures anatomiques, par exemple entre des lésions acquises et des lésions de développement.

Schwendicke et coll. ont publié en 2019 une revue de 36 études portant sur la détection de la perte osseuse (sur radiographies panoramiques et rétro-alvéolaires) et sur la détection des lésions péri-apicales et carieuses (sur radiographies rétro-alvéolaires) avec une bonne précision [140]. Ils ont noté

néanmoins un besoin de standardisation de la méthodologie pour l'utilisation des réseaux de neurones convolutifs en dentisterie.

Khanagar et coll. en 2021 ont fait un recensement des domaines d'application : détection et diagnostic des caries dentaires, des fractures des racines verticales, des lésions apicales, des maladies des glandes salivaires, des sinusites maxillaires, des kystes maxillo-faciaux, des métastases des ganglions cervicaux, de l'ostéoporose, des lésions cancéreuses, de la perte osseuse alvéolaire, prévision des extractions orthodontiques, évaluation de la nécessité de traitements orthodontiques, analyse céphalométrique, *détermination de l'âge et du sexe*, détection de la perte osseuse parodontale, détection du degré de perte osseuse alvéolaire, détermination du sexe à l'aide de paramètres morphométriques mandibulaires, estimation de l'âge sur la base du développement de la troisième molaire [141].

Il faut noter qu' Ekert et coll. ont établi une base de données massive de radiographies panoramiques annotées (2001 images) afin de permettre à des algorithmes de machine learning de s'entraîner à la détection d'anomalies à partir des images[142]. Dans le cadre de ce travail, l'apport d'une telle base aurait été très appréciable, mais malheureusement, il n'existe pas d'équivalent avec les radiographies rétro-alvéolaires. C'est pour cette raison que la base de données DECAT a été utilisée pour ce travail.

Ces études montrent que les systèmes utilisant l'IA sont des **systèmes d'aide à la décision clinique** qui aident et guident les praticiens à prendre de meilleures décisions. Ils ont été utilisés comme outil auxiliaire pour améliorer la précision du diagnostic, la planification du traitement et également pour améliorer la prédiction des résultats du traitement. Ils traitent également des données médicales (par exemple remplissage automatisé du schéma dentaire du patient) ou des connaissances médicales nécessaires pour interpréter ces données (proposition de diagnostic).

4.3.2 Applications dans la détection des lésions carieuses

Au 20 août 2021, une recherche dans la base de données PubMed fait apparaître, que, depuis 2018, 21 publications portant sur la détection des lésions carieuses à l'aide de l'intelligence artificielle sont répertoriées mais aucune ne porte sur la détection des lésions carieuses profondes de façon spécifique (figure 16 ci -après).

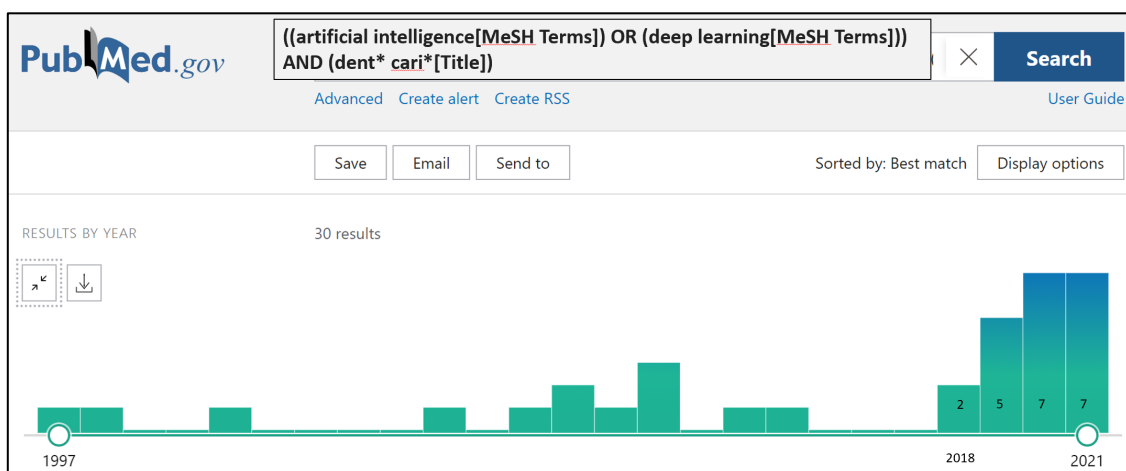


Figure 16. Nombre de publications affichées dans la base de données Pubmed.gov avec l'équation de recherche : `((artificial intelligence [MeSH Terms]) OR (deep learning[MeSH Terms])) AND (dent* cari*[Title])`

Parmi ces 18 études, nous avons choisi de présenter celles qui nous paraissent les plus importantes.

- Wang et coll. 2016 montrent qu'en ce qui concerne la détection automatisée des lésions carieuses sur des radiographies rétro-coronaires, la sensibilité est de moins de 1% [143]. La WA identifie correctement l'émail, la dentine et la pulpe. Ils utilisent le même réseau U-net de Ronneberger que celui utilisé dans l'expérience ci-après.
- Srivastava et coll. 2017 ont développé un réseau de neurones de plus de 100 couches afin de détecter les lésions carieuses sur lequel s'est entraînée une base annotée de 3000 radiographies rétrocoronaires [144]. Le test de référence était effectué par 3 chirurgiens-dentistes experts qui ont validé ou non la présence de lésions carieuses. Le réseau de neurones a montré une plus grande performance que les chirurgiens-dentistes.
- Lee et coll. 2018 mènent la première étude clinique princeps sur des radiographies cliniques alors que les autres études étaient menées sur des radiographies de dents extraites [145]. Les limites sont liées à la base de données utilisée : radiographies en 2D, pas de dents temporaires excluant les radiographies de dents restaurées (donc il semble peu probable que le modèle détecte des caries secondaires).
- Schwendicke et coll. 2019 ont utilisé une base de 226 images obtenues par transillumination infrarouge pour évaluer l'apport de deux réseaux de neurones (Resnet18, Resnext50) pour la détection des lésions carieuses [140]. Les réseaux ont montré des performances satisfaisantes. Le test de référence était l'évaluation par deux examinateurs.
- Cantu et coll. 2020 ont comparé la performance d'un groupe de 7 chirurgiens-dentistes versus un CNN pour la détection des lésions carieuses sur 3686 radiographies rétrocoronaires [146]. Le réseau est significativement plus performant que les praticiens, et notamment de manière importante dans la détection des lésions carieuses initiales (sensibilité du réseau : 0,70 versus sensibilité des praticiens : 0,25). Dans la détection des lésions carieuses avancées, les praticiens avaient une performance variable de l'un à l'autre avec une sensibilité allant de 0,40 à 0,75, alors que la sensibilité du réseau était de 0,70.

4.4 Publication : Mise en place d'un réseau de neurones convolutif de lecture radiographique pour prédire l'effraction pulpaire : résultats préliminaires

Ce travail a donné lieu à un abstract présenté lors de l'International Association for Dental Research (IADR) international en juillet 2021, présenté en [annexe 7](#).

4.4.1 Contexte

L'objectif était de trouver une méthode d'apprentissage profond pour optimiser les prédictions du risque d'effraction pulpaire à partir de la lecture des radiographies préopératoires annotées.

Partir directement sur l'estimation des annotations aurait été une impasse, il faut passer par une étape intermédiaire, à savoir détecter *a priori* l'emplacement de la lésion carieuse pour pouvoir ensuite retrouver les marqueurs intéressants plus facilement.

La première étape est donc de reseuiller la lésion carieuse. Il a été envisagé en première option d'utiliser un *algorithme à seuillage humain*, avec pour inconvénients qu'il faut segmenter (c'est-à-dire contourner) toutes les dents visibles sur la radiographie manuellement et préciser à l'algorithme si la dent a une lésion carieuse ou non à chaque fois (donc à peu près 8 fois sur une radiographie rétrocoronaire). C'est l'humain qui alimente et annote toutes les radiographies de l'algorithme dans cette méthode. La deuxième option envisagée a été l'utilisation d'un *algorithme de deep learning*, soit comme décrit plus haut, un réseau de neurones avec des critères appris qui déduit tout seul la présence de lésion carieuse ou non.

A la fin de cette première étape, le réseau doit être capable de discriminer et localiser une lésion carieuse et aussi de pouvoir généraliser aux cas sains. C'est pour cela que le réseau doit aussi s'entraîner sur une base de radiographies de dents saines (sans lésions carieuses ni autres artefacts tels que : obturations, réhabilitations prothétiques).

La deuxième étape a été la mise en place d'un algorithme d'apprentissage profond pour optimiser la prédiction du risque d'effraction pulpaire à partir des radiographies préopératoires et éventuellement permettre la reconstruction des annotations.

Ces deux expériences ont été conduites avec un même réseau, réseau convolutif avec des connexions sur une architecture de type Resnet, avec en entrée une base de données différente par expérience.

4.4.2 Matériel et méthodes

4.4.2.1 Implémentation du réseau de neurones

L'architecture du réseau utilisé est illustrée dans le poster ci-dessus (première figure). L'image est en entrée une matrice de pixels. Les images sont redimensionnées en 256×256 pixels. Chaque pixel de l'image est l'entrée d'un neurone.

Le réseau est composé d'un encodeur, le réseau de neurones, et d'un classifieur. La sortie de l'encodeur vers le classifieur se fait sous la forme de 2 valeurs. Ces 2 valeurs représentent un point dans un espace à deux dimensions (x, y) , qui permet la visualisation des résultats.

L'encodeur contient 3 couches convolutives (apprentissage et extraction des caractéristiques d'intérêt que le réseau choisit lui-même) suivies chacune d'une fonction d'activation reLu puis d'une couche de max pooling (réduction de la taille des caractéristiques). En plus, se trouvent une couche de drop out pour l'entraînement uniquement, puis une couche finale qui donne 2 valeurs en sortie.

La couche de drop out n'est utilisée que pendant la phase d'entraînement. Elle agit comme un masque qui annule aléatoirement l'effet de certains neurones du réseau (en annulant leur poids) mais sans avoir un impact sur les autres neurones. Cette couche permet de donner une probabilité de ne pas utiliser certaines connexions pour diminuer le surentraînement du réseau. Cette couche est particulièrement importante étant donné qu'elle permet de rendre le réseau plus robuste.

Le classifieur se compose d'une couche finale complètement connectée aux autres couches (« fully connected ») appelée linear qui prend en entrée les 2 valeurs de l'encodeur et donne en sortie la probabilité d'appartenir à chaque classe (effraction versus absence d'effraction ; carie versus pas de carie). Le classifieur donne une probabilité de classification, soit un score entre 0 et 1 qui est ensuite binarisé à 0 ou 1 pour classifier.

4.4.2.2 Développement du script d'entraînement de réseaux de neurones

Le jeu de données est réparti aléatoirement en 3 jeux. La division aléatoire du jeu de données en 3 parties peut entraîner des écarts de résultats entre deux expériences, certaines divisions pouvant être plus ou moins favorables. Pour répondre à ce problème, une division en "folds", ou "plis" en français, a été implémentée. Le jeu de données est découpé en un certain nombre de parties. Les différentes parties peuvent être utilisées tour à tour comme jeu d'entraînement, de validation, ou de test, ce qui permet au chercheur de réaliser plusieurs expériences avec une répartition différente du jeu de données. Le script développé ici utilise 5 folds, soit 3 pour l'entraînement, 1 pour la validation et 1 pour le test, à partir desquels 5 expériences sont conduites.

Expérience 1	Blue	Blue	Blue	Orange	Red
Expérience 2	Red	Blue	Blue	Blue	Orange
Expérience 3	Orange	Red	Blue	Blue	Blue
Expérience 4	Blue	Orange	Red	Blue	Blue
Expérience 5	Blue	Blue	Orange	Red	Blue

Fold utilisé pour : **Entraînement** **Evaluation** **Test**

Figure 17. Découpage du jeu de données en plis (ou folds).

Description des trois jeux :

- un jeu d'*entraînement* à partir duquel le réseau met à jour les poids du réseau pour minimiser l'erreur de prédiction. Le taux d'apprentissage du réseau permet la modification des poids réseau par rétropropagation : en d'autres termes, on se sert de l'erreur de prédiction pour entraîner le réseau.
- un jeu de *validation* (ou d'*évaluation*) qui est soumis au réseau lors de l'entraînement mais qui ne sert pas pour l'entraînement, donc qui n'est pas utilisé pour mettre à jour les poids. Ce jeu teste la capacité du réseau à généraliser. Il permet aussi de prévenir du surapprentissage (ou overfitting) du réseau : le jeu de validation permet d'arrêter le jeu d'entraînement quand le modèle commence à surapprendre (« overfitter »). Plus le réseau s'entraîne, plus son erreur augmente ensuite sur le jeu de validation, car le réseau apprend « par cœur » les réponses sur le jeu d'entraînement. C'est avant d'atteindre ce seuil qu'il faut arrêter le jeu d'entraînement et passer au jeu de validation.
- un jeu de *test* qui représente des images que le réseau ne voit jamais lors de l'entraînement et qui n'est donc accessible qu'une fois l'entraînement terminé. Le réseau doit alors être capable d'analyser des images qu'il n'a jamais vues, comme lors de son utilisation en conditions réelles. Ce jeu montre la capacité de généralisation du réseau à de nouvelles données.

4.4.2.3 Métriques permettant l'évaluation des performances du réseau

Les matrices de confusion sont le croisement de la classe 0 ou 1 donnée par le classifieur du réseau et de la classe réelle (labellisation des données). Ces matrices (représentées dans le tableau 7) permettent de déterminer la performance du réseau avec les paramètres définis ci-après : sensibilité, spécificité, exactitude, précision, F-score, entropie.

Tableau 7. Matrices de confusion du réseau de neurones.

	Prédiction du classifieur = 0	Prédiction du classifieur = 1
Classe réelle ou attendue 0	Vrai négatif	Faux positif
Classe réelle ou attendue 1	Faux négatif	Vrai positif

Tableau 8. Définition des métriques analysant la performance du réseau.

	Définition	Calcul
Sensibilité	Parmi l'ensemble des cas positifs, combien ont été donnés comme tels par le test. La sensibilité peut être vue comme une mesure de l'exhaustivité	Vrais positifs / (vrais positifs + faux négatifs)
Spécificité	Parmi l'ensemble des cas négatifs, combien ont été donnés comme tels par le test. La spécificité est également une mesure de l'exhaustivité, mais dédiée aux cas négatifs.	Vrais négatifs / (vrais négatifs + faux positifs)
Exactitude ou accuracy	Mesure de la proportion de cas classés correctement. Elle résume à elle seule la mesure des deux paramètres sensibilité et spécificité.	Nombre de cas corrects (vrais positifs + vrais négatifs) / le nombre de cas examinés
Précision	Calcul de la proportion de cas correctement classés positifs parmi les cas classés positifs. La précision peut ainsi être comprise comme une mesure de la qualité.	Vrais positifs / nombre total de cas classés positifs (vrais positifs et faux positifs)
F-score : ou indice de Sørensen-Dice	Moyenne harmonique de la précision et de la sensibilité, ou en résumé la moyenne des faux positifs et des faux négatifs. Par exemple, si F = 90%, alors il y a 1 chance sur 10 d'avoir un faux positif ou un faux négatif. Si F=100%, il n'y a aucun faux négatif et aucun faux positif.	Précision + sensibilité
Entropie ou train and valid loss (loss= erreur)	Paramètre qui montre la manière dont le réseau est entraîné : on veut que son erreur soit aussi faible que possible. Lors de l'entraînement, l'erreur entre le résultat attendu et le résultat obtenu représente l'entropie. L'erreur dépend toujours de la différence entre l'obtenu et l'attendu. Une erreur classique est les moindres carrés : la somme des erreurs au carré. Si elle vaut 0, c'est que toutes les erreurs sont nulles, et le réseau ne se trompe pas. Au début, le réseau a des poids aléatoires. Une fois entraîné, il doit être meilleur qu'au début. Si son entraînement a été bon, l'erreur sur le jeu de test doit diminuer.	Probabilité x 1 / (log probabilité) = % de réponse

4.4.3 Résultats

Expérience 1 : lésions carieuses versus dents saines (figure 18)

En préambule à la tâche de prédiction de l'effraction pulpaire, il a été décidé d'introduire une tâche intermédiaire qui consiste à entraîner le réseau à différencier les radiographies présentant des lésions carieuses de celles ne présentant que des dents saines.

Les zones bleue et rouge correspondent respectivement aux points que le classifieur donne comme positifs (classe calculée = effraction pulpaire) ou négatifs (classe calculée = pas d'effraction pulpaire). La couleur des points (noirs ou blancs) correspond à la vérité terrain. Les points noirs correspondent aux images de la classe positive (classe réelle = effraction pulpaire), les points blancs aux images de la classe négative (classe réelle = pas d'effraction pulpaire). La position de ces points noirs et blancs est calculée par le réseau et dépend des deux valeurs obtenues à la sortie de l'encodeur pour une radiographie donnée.

Sur les graphiques des métriques, en abscisse se trouve le nombre d'itérations, avec 1 itération qui vaut 1 batch, et un batch vaut 86 images. Une epoch vaut 6 batch soit 6 x 86 images.

Les expériences réalisées sur la classification des lésions carieuses montrent de très bons résultats sur le jeu de test avec des métriques toutes supérieures à 98,38% en moyenne :

- Sensibilité : 0,9838
- Spécificité : 1,0000
- Exactitude : 0,9875
- Précision : 1,0000
- F-Score : 0,9918
- Erreur (ou loss) : 0,0598

Sur le classifieur, très peu de faux positifs, ni de faux négatifs sont visibles.

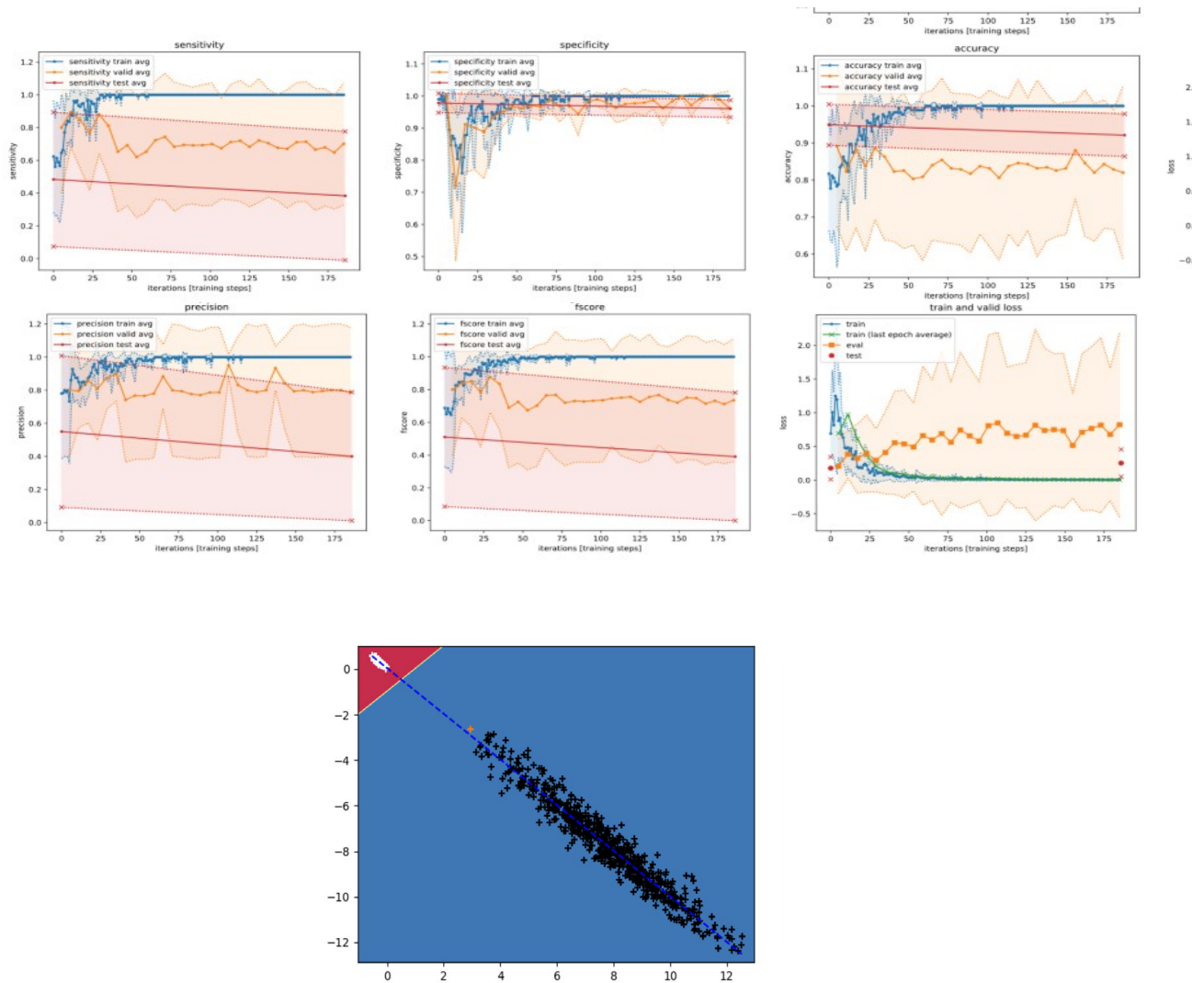


Figure 18. Performances du réseau sur l'expérience 1 détection de lésions carieuses.

Expérience 2 : effraction pulpaire versus absence d'effraction pulpaire (figure 19)

Les métriques obtenues sur le jeu de test sont :

- Sensibilité : 0,3917 ; écart type : 0,4343
- Spécificité : 0,9290 ; écart type : 0,0900
- Exactitude : 0,8873 ; écart type : 0,0947
- Précision : 0,4333 ; écart type : 0,4163
- F-Score : 0,4030 ; écart type : 0,4279
- Erreur (ou loss) : 0,3021 ; écart type : 0,2144

Les résultats sont en moyenne insuffisants et souffrent également de l'écart type élevé d'environ 0,40 sur la sensibilité, la précision et le F-score.

Le réseau souffre de surentraînement comme le montrent les courbes d'erreur (*loss*) sur les jeux d'entraînement (*train*) et de validation (*eval*) qui se croisent très tôt et divergent. Ce croisement

représente le moment de l'«overfitting» ou sur-entraînement. Après ce croisement, l'erreur augmente progressivement sur le jeu de validation : le réseau ne généralise pas bien aux nouvelles données du jeu de validation.

Sur le classifieur, une proportion importante de faux positifs est visible, avec peu de faux négatifs (trois).

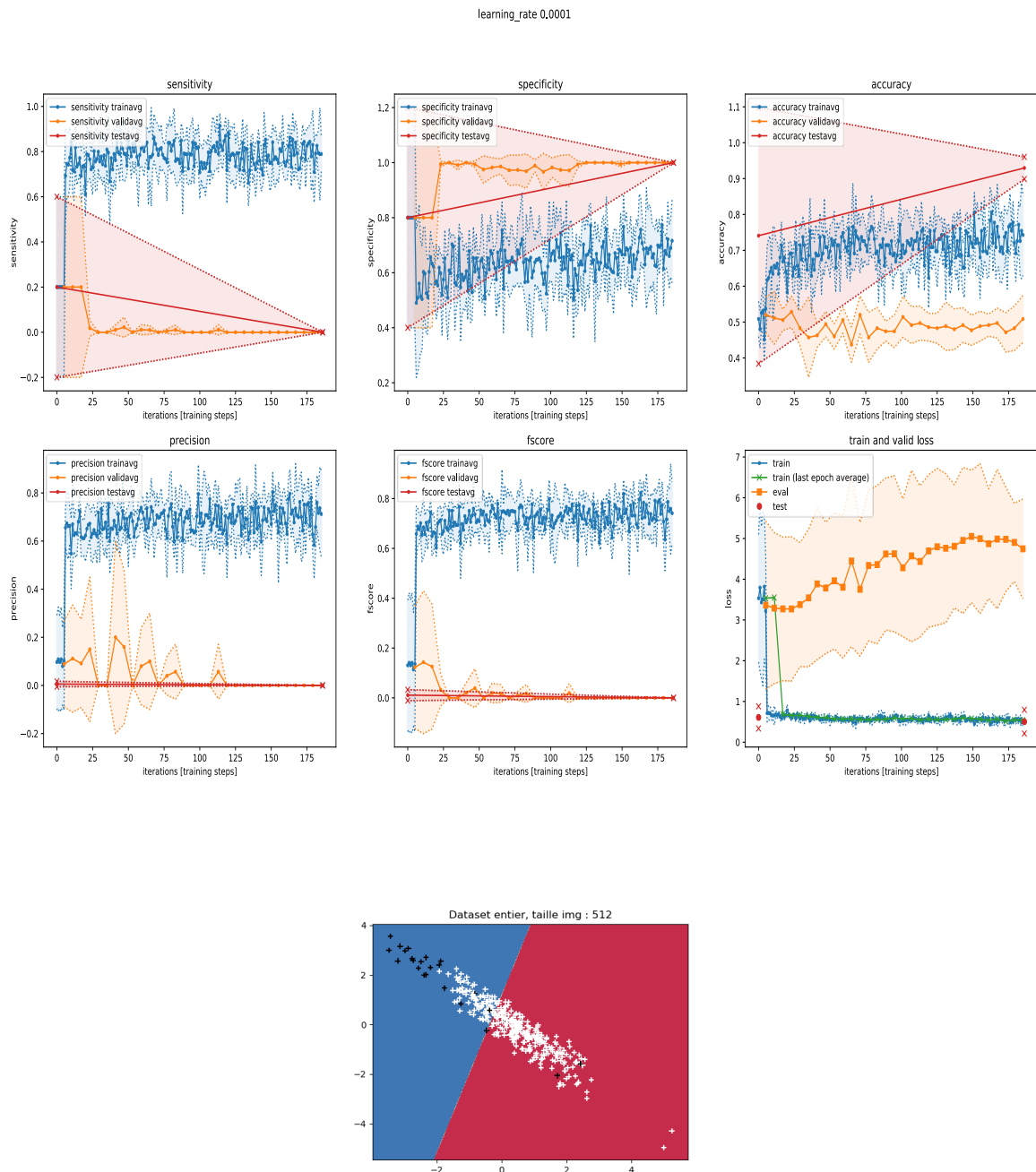


Figure 19. Performances du réseau sur l'expérience 2 prédiction de l'effraction pulpaire.

4.5 Discussion

4.5.1 Limites de l'étude

Concernant l'expérience de détection de caries, les résultats sont prometteurs. Néanmoins, lorsqu'on essaie d'analyser comment le réseau localise les lésions carieuses à l'aide d'un logiciel d'interprétabilité, l'algorithme utilisé n'arrive pas à localiser graphiquement la lésion carieuse sur les images. En effet, le réseau peut s'appuyer sur d'autres caractéristiques liées au hasard. La base de données étant hétérogène, le réseau pourrait détecter par exemple la résolution comme une caractéristique de lésion carieuse. En d'autres termes, si toutes les lésions carieuses étaient sur des images de bonne résolution et toutes les dents saines sur des images de basse résolution, détecter la résolution suffirait alors à dire s'il y a lésion carieuse ou non.

Les résultats sur la prédiction de l'effraction pulpaire sont moins bons que ceux sur la détection de lésion carieuse et du travail semble encore nécessaire pour améliorer la capacité du réseau à généraliser sur de nouvelles données.

La faible quantité de données (356 images), ainsi que la faible représentation de la classe effraction pulpaire (25 images) peuvent en être la cause. Pour contrer les conséquences du faible nombre de radiographies avec effraction (8% de la base), une augmentation de données a été effectuée. Cette manœuvre vise à augmenter les poids et le passage des radiographies avec effraction afin d'équilibrer l'apprentissage des 2 classes de radiographies. Mais l'idéal est d'avoir des bases de données homogènes.

Concernant les deux expériences, les modèles construits ne sont donc que le reflet de l'état des bases de données sur lesquels ils étaient entraînés.

Une voie d'amélioration serait d'afficher la probabilité de la classe, plutôt que la classe linéarisée.

La projection d'une radiographie dans un espace en 2 dimensions et dans un classifieur linéaire pour augmenter l'interprétabilité du réseau peut aussi être une source limitante dans l'interprétation des résultats.

Comme il n'a pas été possible de localiser les lésions carieuses, l'étape de reconstruction des annotations n'a pas aboutie.

4.5.2 Interprétabilité

L'interprétabilité des modèles intervient pour nous montrer explicitement les parties de l'image qui ont le plus influencé la décision d'un modèle. Elle nous permet ainsi :

- de vérifier qu'un réseau qui a d'excellentes performances est fiable et de bonne qualité en nous donnant la possibilité de visualiser les caractéristiques qui ont motivé ses décisions (Expérience 1 : détection de caries).
- de comprendre les raisons pour lesquelles le modèle a de mauvaises performances sur une certaine tâche et de faciliter son amélioration (Expérience 2 : prédiction effraction pulpaire).

L'algorithme Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping) a pour objectif de montrer quelles parties de l'image ont le plus influencé la classe qui lui a été donnée. Il crée une carte de localisation (ou heat map) superposée à l'image qui indique les parties les plus importantes dans la prise de décision du modèle. Grad-CAM ne colorie les régions en rouge que si elles sont susceptibles de changer sa prédiction en étant modifiées. Les zones rouges lui servent à prendre sa décision, et les bleues ne lui servent pas.

Le classifieur ne voit que la sortie de la dernière couche qui dépend des précédentes. Il ne prend pas en compte comment cette dernière a été obtenue et ne voit pas toutes les couches qui lui arriveraient en même temps. Grad-CAM ne montre que la dernière couche convolutive et n'affiche pas les sous couches du réseau de neurones. Une voie d'amélioration serait d'afficher les images des sous-couches du réseau.

Grad-CAM a été utilisé avec pour objectif d'effectuer un pré-traitement qui permettrait d'identifier les dents présentant des lésions carieuses. L'interface permet de visualiser les images obtenues en faisant varier les poids et les couches : en prenant les gradients des couches convolutives 1, 2 ou 3 ainsi que les 3 couches en même temps. La probabilité que chaque image appartienne à sa classe est affichée, remplissant ainsi l'objectif de donner un score de confiance pour chaque prédiction.

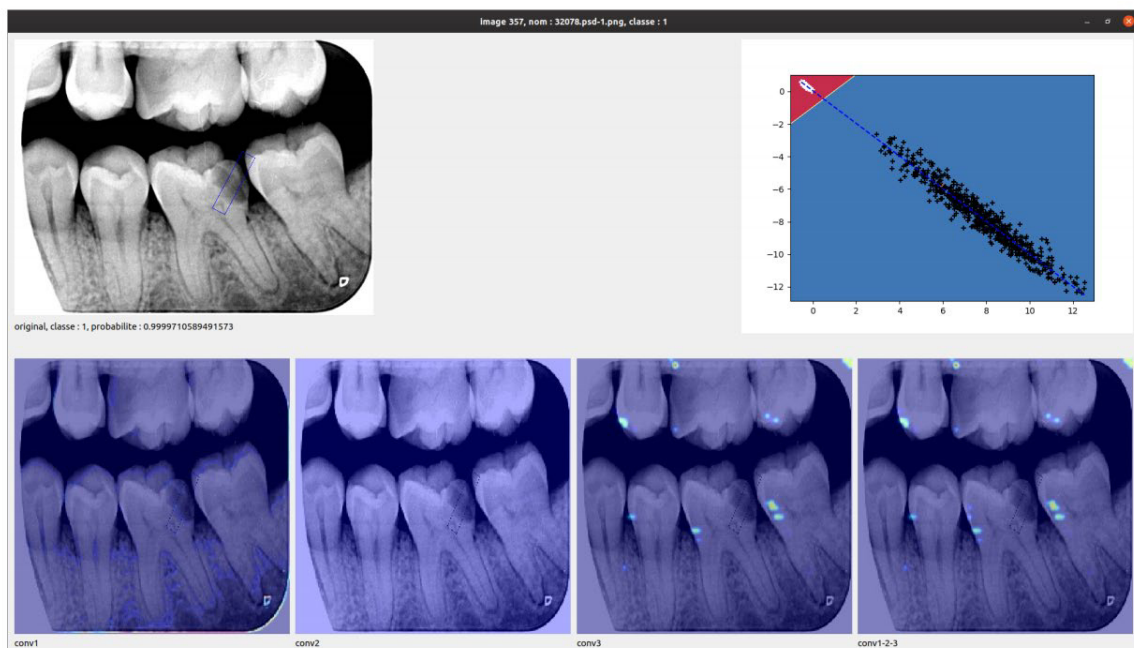


Figure 20. Captures d'écran de l'interface développé avec Grad-CAM.

5 Conclusion

Une amélioration de la prise en charge des lésions carieuses profondes est proposée à travers une évaluation des pratiques des externes français de fin de DFASO2, et ainsi qu'au travers de deux outils que sont l'examen radiographique préopératoire et la mise en place d'un réseau de neurones pour automatiser cette lecture radiographique.

L'enquête sur laquelle nous nous appuyons montre que 48% des étudiants réalisent une excavation complète dans la prise en charge d'une lésion carieuse profonde (atteignant le 1/3 dentinaire interne radiographiquement) d'une dent asymptomatique, versus 75% d'excavation complète pour les praticiens libéraux français. En cas d'effraction pulpaire, 94% des étudiants réalisent un coiffage pulpaire direct. Les étudiants ont une vision plus conservatrice que leurs aînés sur la préservation pulpaire obtenue avec l'éviction sélective, qui permet de réduire le taux d'effraction pulpaire.

Ce travail a permis d'établir que le calcul et l'utilisation d'un ratio EDR/EDT à partir des radiographies préopératoires pouvaient être utilisés comme indice prédictif de l'effraction pulpaire. Il permet de s'affranchir des variabilités anatomiques des dents et de linéariser les mesures puisqu'il est non dépendant de la population. Lorsque le ratio diminue de 10 points sur les radiographies non contrastées, le risque d'effraction pulpaire est multiplié par 2,57. Le contraste améliore la prédiction du risque d'effraction pulpaire, bien qu'il ne réduise pas les erreurs de mesure.

Cependant, une grande variabilité inter-évaluateur de lecture des radiographies persiste. Afin d'améliorer l'interprétation des radiographies préopératoires, une lecture automatisée à l'aide d'un réseau de neurones convolutif a été développée. Les résultats de la première expérience sur la détection des lésions carieuses sont encourageants (performance du réseau supérieur à 90%). Les résultats de l'expérience principale sur la prédiction de l'effraction pulpaire sont encore à optimiser. Plusieurs pistes sont envisageables avec une homogénéisation des bases de données, et l'amélioration de l'interprétabilité des deux réseaux.

L'exploitation des données est un vrai enjeu de demain. Comme nous l'avons vu précédemment, en s'inspirant des travaux d'Ekert et coll. qui ont proposé en 2018 une base de données de radiographies panoramiques, il serait judicieux de développer une base de radiographies rétro-alvéolaires et/ou rétrocoronaires puissante qui pourrait permettre à d'autres logiciels d'apprentissage de développer des nouveaux outils d'analyse. Pour atteindre cet objectif ambitieux, il sera nécessaire, comme cela a été fait tout au long de ce travail, de développer et d'entretenir des collaborations scientifiques en partenariat avec les structures hospitalières.

Ce travail de thèse aura été ainsi l'occasion de démontrer la place centrale qu'occupe la collecte et l'analyse des données de santé dans la recherche biomédicale et l'importance du cercle vertueux « clinique-recherche-clinique » au service des patients.

1. Bernabe E, Marcenes W, Hernandez CR, Bailey J, Abreu LG, Alipour V, et al. Global, Regional, and National Levels and Trends in Burden of Oral Conditions from 1990 to 2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease 2017 Study. *J Dent Res*. 2020;99:362-73.
2. Peres MA, Macpherson LMD, Weyant RJ, Daly B, Venturelli R, Mathur MR, et al. Oral diseases: a global public health challenge. *The Lancet*. 2019;394:249-60.
3. 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*. 2017;96:380-7.
4. Decup F, Dantony E, Chevalier C, David A, Garyga V, Tohmé M, et al. Needs for re-intervention on restored teeth in adults: a practice-based study. *Clin Oral Investig*. 2021;
5. Innes NPT, Chu CH, Fontana M, Lo ECM, Thomson WM, Uribe S, et al. A Century of Change towards Prevention and Minimal Intervention in Cariology. *J Dent Res*. 2019;98:611-7.
6. Magnusson BO, Sundell SO. Stepwise excavation of deep carious lesions in primary molars. *J Int Assoc Dent Child*. 1977;8:36-40.
7. Oong EM, Griffin SO, Kohn WG, Gooch BF, Caufield PW. The effect of dental sealants on bacteria levels in caries lesions: a review of the evidence. *J Am Dent Assoc*. 2008;139:271-8; quiz 357-8.
8. Pitts NB, Ekstrand KR, ICDAS Foundation. International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) and its International Caries Classification and Management System (ICCMS) - methods for staging of the caries process and enabling dentists to manage caries. *Community Dent Oral Epidemiol*. 2013;41:e41-52.
9. Wenzel A. Radiographic display of carious lesions and cavitation in approximal surfaces: Advantages and drawbacks of conventional and advanced modalities. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2014;72:251-64.
10. Gimenez T, Piovesan C, Braga MM, Raggio DP, Deery C, Ricketts DN, et al. Visual Inspection for Caries Detection: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Dent Res*. 2015;94:895-904.
11. Bjørndal L, Thylstrup A. A practice-based study on stepwise excavation of deep carious lesions in permanent teeth: a 1-year follow-up study. *Commun Dent Oral Epidemiol*. 1998;26:122-8.
12. Leksell E, Ridell K, Cvek M, Mejare I. Pulp exposure after stepwise versus direct complete excavation of deep carious lesions in young posterior permanent teeth. *Dent Traumatol*. 1996;12:192-6.
13. Casagrande L, Falster CA, Di Hipolito V, De Góes MF, Straffon LH, Nör JE, et al. Effect of adhesive restorations over incomplete dentin caries removal: 5-year follow-up study in primary teeth. *J Dent Child (Chic)*. 2009;76:117-22.
14. Alves LS, Fontanella V, Damo AC, Ferreira de Oliveira E, Maltz M. Qualitative and quantitative radiographic assessment of sealed carious dentin: a 10-year prospective study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2010;109:135-41.

15. European Society of Endodontology (ESE) developed by: Duncan HF, Galler KM, Tomson PL, Simon S, El-Karim I, et al. European Society of Endodontology position statement: Management of deep caries and the exposed pulp. *Int Endod J*. 2019;52:923-34.
16. Schwendicke F, Tzschoppe M, Paris S. Radiographic caries detection: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*. 2015;43:924-33.
17. Pitts NB, Rimmer PA. An in vivo Comparison of Radiographic and Directly Assessed Clinical Caries Status of Posterior Approximal Surfaces in Primary and Permanent Teeth. *CRE*. 1992;26:146-52.
18. Schwendicke F, Splieth C, Breschi L, Banerjee A, Fontana M, Paris S, et al. When to intervene in the caries process? An expert Delphi consensus statement. *Clin Oral Invest*. 2019;23:3691-703.
19. Nyvad B, Baelum V. Nyvad Criteria for Caries Lesion Activity and Severity Assessment: A Validated Approach for Clinical Management and Research. *Caries Res*. 2018;52:397-405.
20. Managing Carious Lesions: Consensus Recommendations on Terminology. *Advances in Dental Research*. 2016;9.
21. Schwendicke F, Frencken JE, Bjørndal L, Maltz M, Manton DJ, Ricketts D, et al. Managing Carious Lesions: Consensus Recommendations on Carious Tissue Removal. *Adv Dent Res*. 2016;28:58-67.
22. Schwendicke F, Paris S, Tu Y-K. Effects of using different criteria for caries removal: a systematic review and network meta-analysis. *J Dent*. 2015;43:1-15.
23. Kidd EA, Joyston-Bechal S, Beighton D. Microbiological validation of assessments of caries activity during cavity preparation. *Caries Res*. 1993;27:402-8.
24. Banerjee A, Yasserli M, Munson M. A method for the detection and quantification of bacteria in human carious dentine using fluorescent in situ hybridisation. *J Dent*. 2002;30:359-63.
25. Innes N. Treatment options for carious tissue removal. *Clinical Dentistry Reviewed*. 2019;7.
26. Kidd E a. M. How « clean » must a cavity be before restoration? *Caries Res*. 2004;38:305-13.
27. Paddick JS, Brailsford SR, Kidd E a. M, Beighton D. Phenotypic and genotypic selection of microbiota surviving under dental restorations. *Appl Environ Microbiol*. 2005;71:2467-72.
28. Fusayama T, Okuse K, Hosoda H. Relationship between hardness, discoloration, and microbial invasion in carious dentin. *J Dent Res*. 1966;45:1033-46.
29. Miyauchi H, Iwaku M, Fusayama T. Physiological recalcification of carious dentin. *Bull Tokyo Med Dent Univ*. 1978;25:169-79.
30. Bjørndal L. The caries process and its effect on the pulp: the science is changing and so is our understanding. *J Endod*. 2008;34:S2-5.
31. Ngo HC, Mount G, Mc Intyre J, Tuisuva J, Von Doussa RJ. Chemical exchange between glass-ionomer restorations and residual carious dentine in permanent molars: an in vivo study. *J Dent*. 2006;34:608-13.

32. Wambier DS, dos Santos FA, Guedes-Pinto AC, Jaeger RG, Simionato MRL. Ultrastructural and microbiological analysis of the dentin layers affected by caries lesions in primary molars treated by minimal intervention. *Pediatr Dent*. 2007;29:228-34.
33. Schwendicke F, Stolpe M, Meyer-Lueckel H, Paris S, Dörfer CE. Cost-effectiveness of one- and two-step incomplete and complete excavations. *J Dent Res*. 2013;92:880-7.
34. Wolters WJ, Duncan HF, Tomson PL, Karim IE, McKenna G, Dorri M, et al. Minimally invasive endodontics: a new diagnostic system for assessing pulpitis and subsequent treatment needs. *Int Endod J*. 2017;50:825-9.
35. Ricucci D, Loghin S, Siqueira JF. Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses. *J Endod*. 2014;40:1932-9.
36. Boukpepsi T, Drossart M, Bérès F, Plasse-Pradelle N. Coiffage pulpaire direct, pulpotomie, pulpectomie: où en sommes-nous en 2020? *Réalités Cliniques*. 2019;30:241-52.
37. Bjørndal L, Fransson H, Bruun G, Markvart M, Kjældgaard M, Näsman P, et al. Randomized Clinical Trials on Deep Carious Lesions: 5-Year Follow-up. *J Dent Res*. 2017;96:747-53.
38. Schwendicke F, Walsh T, Lamont T, Al-Yaseen W, Bjørndal L, Clarkson JE, et al. Interventions for treating cavitated or dentine carious lesions. *Cochrane Database Syst Rev*. 2021;7:CD013039.
39. Bjørndal L, Larsen T, Thylstrup A. A Clinical and Microbiological Study of Deep Carious Lesions during Stepwise Excavation Using Long Treatment Intervals. *Caries Res*. 1997;31:411-7.
40. Bjørndal L, Reit C, Bruun G, Markvart M, Kjaeldgaard M, Näsman P, et al. Treatment of deep caries lesions in adults: randomized clinical trials comparing stepwise vs. direct complete excavation, and direct pulp capping vs. partial pulpotomy: Treatment of deep caries in adults. *European Journal of Oral Sciences*. 2010;118:290-7.
41. Maltz M, Moura M, Jardim JJ, Marques C, De Paula LM, Mestrinho HD. Partial caries removal in deep lesions: 19-30 months follow-up study. *R Fac Odontol Porto Alegre*. 2011;51:20-3.
42. Orhan AI, Oz FT, Orhan K. Pulp exposure occurrence and outcomes after 1- or 2-visit indirect pulp therapy vs complete caries removal in primary and permanent molars. *Pediatr Dent*. 2010;32:347-55.
43. Maltz M, Alves LS, Jardim JJ, Moura M dos S, de Oliveira EF. Incomplete caries removal in deep lesions: a 10-year prospective study. *Am J Dent*. 2011;24:211-4.
44. Florimond M, Bornens P, Decup F. Aides à la préservation tissulaire pour l'éviction carieuse : colorants et fluorescence. 2020;11.
45. Franzon R, Guimarães LF, Magalhães CE, Haas AN, Araujo FB. Outcomes of One-Step Incomplete and Complete Excavation in Primary Teeth: A 24-Month Randomized Controlled Trial. *Caries Res*. 2014;48:376-83.
46. Lula ECO, Almeida Jr. LJS, Alves CMC, Monteiro-Neto V, Ribeiro CCC. Partial Caries Removal in Primary Teeth: Association of Clinical Parameters with Microbiological Status. *Caries Res*. 2011;45:275-80.

47. Ribeiro CC, Baratieri LN, Perdigão J, Baratieri NM, Ritter AV. A clinical, radiographic, and scanning electron microscopic evaluation of adhesive restorations on carious dentin in primary teeth. *Quintessence Int.* 1999;30:591-9.
48. Maltz M, Koppe B, Jardim JJ, Alves LS, de Paula LM, Yamaguti PM, et al. Partial caries removal in deep caries lesions: a 5-year multicenter randomized controlled trial. *Clin Oral Invest.* 2018;22:1337-43.
49. Schenkel AB, Peltz I, Veitz-Keenan A. Dental cavity liners for Class I and Class II resin-based composite restorations. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016;10:CD010526.
50. Modena KC da S, Casas-Apayco LC, Atta MT, Costa CA de S, Hebling J, Sipert CR, et al. Cytotoxicity and biocompatibility of direct and indirect pulp capping materials. *J Appl Oral Sci.* 2009;17:544-54.
51. Krifka S, Spagnuolo G, Schmalz G, Schweikl H. A review of adaptive mechanisms in cell responses towards oxidative stress caused by dental resin monomers. *Biomaterials.* 2013;34:4555-63.
52. Tronstad L, Mjör IA. Capping of the inflamed pulp. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1972;34:477-85.
53. Tran XV, Salehi H, Truong MT, Sandra M, Sadoine J, Jacquot B, et al. Reparative Mineralized Tissue Characterization after Direct Pulp Capping with Calcium-Silicate-Based Cements. *Materials (Basel).* 2019;12:2102.
54. Matsuo T, Nakanishi T, Shimizu H, Ebisu S. A clinical study of direct pulp capping applied to carious-exposed pulps. *J Endod.* 1996;22:551-6.
55. Bjørndal L, Reit C, Bruun G, Markvart M, Kjaeldgaard M, Näsman P, et al. Treatment of deep caries lesions in adults: randomized clinical trials comparing stepwise vs. direct complete excavation, and direct pulp capping vs. partial pulpotomy: Treatment of deep caries in adults. *European Journal of Oral Sciences.* 2010;118:290-7.
56. Al-Hiyasat AS, Barrieshi-Nusair KM, Al-Omari MA. The radiographic outcomes of direct pulp-capping procedures performed by dental students. *The Journal of the American Dental Association.* 2006;137:1699-705.
57. Barthel CR, Rosenkranz B, Leuenberg A, Roulet JF. Pulp capping of carious exposures: treatment outcome after 5 and 10 years: a retrospective study. *J Endod.* 2000;26:525-8.
58. Taha NA, Ahmad MB, Ghanim A. Assessment of Mineral Trioxide Aggregate pulpotomy in mature permanent teeth with carious exposures. *Int Endod J.* 2017;50:117-25.
59. Paula AB, Laranjo M, Marto C-M, Paulo S, Abrantes AM, Casalta-Lopes J, et al. Direct Pulp Capping: What is the Most Effective Therapy?-Systematic Review and Meta-Analysis. *J Evid Based Dent Pract.* 2018;18:298-314.
60. Aguilar P, Linsuwanont P. Vital Pulp Therapy in Vital Permanent Teeth with Cariously Exposed Pulp: A Systematic Review. *Journal of Endodontics.* 2011;37:581-7.
61. Bergenholtz G, Axelsson S, Davidson T, Frisk F, Hakeberg M, Kvist T, et al. Treatment of pulps in teeth affected by deep caries – A systematic review of the literature. *Singapore Dental Journal.* 2013;34:1-12.

62. Demant S, Dabelsteen S, Bjørndal L. A macroscopic and histological analysis of radiographically well-defined deep and extremely deep carious lesions: carious lesion characteristics as indicators of the level of bacterial penetration and pulp response. *Int Endod J.* 2021;54:319-30.
63. Doméjean S, Léger S, Maltrait M, Espelid I, Tveit AB, Tubert-Jeannin S. Changes in Occlusal Caries Lesion Management in France from 2002 to 2012: A Persistent Gap between Evidence and Clinical Practice. *Caries Res.* 2015;49:408-16.
64. Stangvaltaite L, Schwendicke F, Holmgren C, Finet M, Maltz M, Elhennawy K, et al. Management of pulps exposed during carious tissue removal in adults: a multi-national questionnaire-based survey. *Clin Oral Invest.* 2017;21:2303-9.
65. Finet M, Holmgren CJ, Schwendicke F, Stangvaltaite L, Maltz M, Doméjean-Orliaguet S. Prise en charge des lésions carieuses profondes par les omnipraticiens français. *L'Information Dentaire.* 2016;8:1-9.
66. Weber CM, Alves LS, Maltz M. Treatment decisions for deep carious lesions in the Public Health Service in Southern Brazil: Treatment decisions for deep carious lesions. *Journal of Public Health Dentistry.* 2011;71:265-70.
67. Schwendicke F, Meyer-Lueckel H, Dörfer C, Paris S. Attitudes and behaviour regarding deep dentin caries removal: a survey among German dentists. *Caries Res.* 2013;47:566-73.
68. Stangvaltaite L, Kundzina R, Eriksen HM, Kerosuo E. Treatment preferences of deep carious lesions in mature teeth: Questionnaire study among dentists in Northern Norway. *Acta Odontologica Scandinavica.* 2013;71:1532-7.
69. Le Clerc J, Gasqui M-A, Laforest L, Beaurain M, Ceinos R, Chemla F, et al. Knowledge and opinions of French dental students related to caries risk assessment and dental sealants (preventive and therapeutic). *Odontology.* 2021;109:41-52.
70. Gasqui M-A, Laforest L, Clerc JL, Ceinos R, Chemla F, Chevalier V, et al. Knowledge and Opinions of French Dental Students Toward Occlusal and Proximal Restorative Thresholds. *Oral Health.* :7.
71. Gupta T. Oral health status of a group of illicit drug users in Delhi, India. *Community Dental Health.* 2012;49-54.
72. Peterson SN, Snesrud E, Liu J, Ong AC, Kilian M, Schork NJ, et al. The dental plaque microbiome in health and disease. *PLoS One.* 2013;8:e58487.
73. Kadanakuppe S, Bhat PK. Oral health status and treatment needs of Iruligas at Ramanagara District, Karnataka, India. *West Indian Med J.* 2013;62:73-80.
74. Blum IR, Younis N, Wilson NHF. Use of lining materials under posterior resin composite restorations in the UK. *J Dent.* 2017;57:66-72.
75. Uhlen MM, Valen H, Karlsen LS, Skaare AB, Bletsa A, Ansteinsson V, et al. Treatment decisions regarding caries and dental developmental defects in children - a questionnaire-based study among Norwegian dentists. *BMC Oral Health.* 2019;19:80.
76. Kuter B. Caries experience, oral disorders, oral hygiene practices and sociodemographic characteristics of autistic children. *European Journal of Paediatric Dentistry.* 2019;237-41.

77. Ates AA, Alomari T, Bhardwaj A, Tabnjh A, Gambarini G. Differences in endodontic emergency management by endodontists and general dental practitioners in COVID-19 times. *Braz Oral Res.* 2020;34:e122.
78. Sun W, Chen H, Zhong Y, Zhang W, Chu F, Li L, et al. Three-Dimensional Tooth Models with Pulp Cavity Enhance Dental Anatomy Education. *Anat Sci Educ.* 2021;
79. Asif SM, Naheeda S, Assiri KI, Almubarak HM, Kaleem SM, Zakirulla M, et al. Oral hygiene practice and periodontal status among two tribal population of Telangana state, India- an epidemiological study. *BMC Oral Health.* 2019;19:8.
80. Wang CX, Ma LL, Yang Y, Xu MR, Wang X, Feng XP, et al. Oral Health Knowledge, Attitudes, Behaviour and Oral Health Status of Chinese Diabetic Patients Aged 55 to 74 Years. *Chin J Dent Res.* 2018;21:267-73.
81. Muller-Bolla M, Aiem E, Velly AM, Doméjean S. Deep carious lesions management in children and adolescents: a questionnaire survey among dentists practicing paediatric dentistry in France. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2021;
82. Muller-Bolla M, Garcia A, Aiem E, Doméjean S. Dentists' decisions for deep carious lesions management in primary teeth. *Int J Paediatr Dent.* 2020;30:578-86.
83. Smaïl-Faugeron V, Porot A, Muller-Bolla M, Courson F. Indirect pulp capping versus pulpotomy for treating deep carious lesions approaching the pulp in primary teeth: a systematic review. *Eur J Paediatr Dent.* 2016;17:107-12.
84. Schwendicke F, Göstemeyer G. Understanding dentists' management of deep carious lesions in permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *Implement Sci.* 2016;11:142.
85. Doméjean S, Grosogeat B. Evidence-Based Deep Carious Lesion Management: From Concept to Application in Everyday Clinical Practice. In: Schwendicke F, Frencken J, Innes N, éditeurs. *Monographs in Oral Science [Internet].* S. Karger AG; 2018 [cité 12 août 2021]. p. 137-45. Disponible sur: <https://www.karger.com/Article/FullText/487840>
86. Chisini LA, Conde MCM, Correa MB, Dantas RVF, Silva AF, Pappen FG, et al. Vital Pulp Therapies in Clinical Practice: Findings from a Survey with Dentist in Southern Brazil. *Braz Dent J.* 2015;26:566-71.
87. Schwendicke F, Stangvaltaite L, Holmgren C, Maltz M, Finet M, Elhennawy K, et al. Dentists' attitudes and behaviour regarding deep carious lesion management: a multi-national survey. *Clin Oral Invest.* 2017;21:191-8.
88. Koopaei MM, Inglehart MR, McDonald N, Fontana M. General dentists', pediatric dentists', and endodontists' diagnostic assessment and treatment strategies for deep carious lesions. *The Journal of the American Dental Association.* 2017;148:64-74.
89. Croft K, Kervanto-Seppälä S, Stangvaltaite L, Kerosuo E. Management of deep carious lesions and pulps exposed during carious tissue removal in adults: a questionnaire study among dentists in Finland. *Clin Oral Invest.* 2019;23:1271-80.
90. Alnahwi TH, Alhamad M, Majeed A, Nazir MA. Management preferences of deep caries in permanent teeth among dentists in Saudi Arabia. *Eur J Dent.* 2018;12:300-4.

91. Crespo-Gallardo I, Martin-Gonzalez J, Jimenez-Sanchez M, Cabanillas-Balsera D, Sanchez-Dominguez B, Segura-Egea J. Dentist's knowledge, attitudes and determining factors of the conservative approach in teeth with reversible pulpitis and deep caries lesions. *J Clin Exp Dent*. 2018;e1205-15.
92. Kakudate N, Yokoyama Y, Sumida F, Matsumoto Y, Gordan VV, Gilbert GH. Dentists' practice patterns of treatment for deep occlusal caries: Findings from a dental practice-based research network. *Journal of Dentistry*. 2019;84:76-80.
93. Chai B, Tay B, Chow C, Fuss J, Krishnan U. Treatment preferences for deep caries lesions among Australian dentists. *Aust Dent J*. 2020;65:83-9.
94. Edwards D, Bailey O, Stone S, Duncan H. The management of deep caries in UK primary care: A nationwide questionnaire-based study. *Int Endod J*. 2021;iej.13585.
95. Careddu R, Plotino G, Cotti E, Duncan HF. The management of deep carious lesions and the exposed pulp amongst members of two European endodontic societies: a questionnaire-based study. *Int Endod J*. 2021;54:366-76.
96. Nascimento MM, Behar-Horenstein LS, Feng X, Guzmán-Armstrong S, Fontana M. Exploring How U.S. Dental Schools Teach Removal of Carious Tissues During Cavity Preparations. *Journal of Dental Education*. 2017;81:5-13.
97. Sales GC, Marques MG, Rubin DR, Nardoni DN, Leal SC, Hilgert LA, et al. Are Brazilian dentists and dental students using the ICCC recommendations for caries management? *Braz Oral Res*. 2020;34:e062.
98. Othman NI, Ismail HU, Mohammad N, Ghazali N, Alauddin MS. An Evaluation on Deep Caries Removal Method and Management Performed by Undergraduate Dental Students: A Malaysia Experience. *Eur J Dent*. 2021;15:281-9.
99. Hon L, Mohamed A, Lynch E. Reliability of colour and hardness clinical examinations in detecting dentine caries severity: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep*. 2019;9:6533.
100. Jeggle L-M, Baker SR, Schwendicke F. Changing dentists' carious tissue removal behavior: Qualitative study and behavioral change simulation experiment. *Journal of Dentistry*. 2019;81:43-51.
101. Grol R, Grimshaw J. From best evidence to best practice: effective implementation of change in patients' care. *Lancet*. 2003;362:1225-30.
102. Innes NPT, Frencken JE, Schwendicke F. Don't Know, Can't Do, Won't Change: Barriers to Moving Knowledge to Action in Managing the Carious Lesion. *J Dent Res*. 2016;95:485-6.
103. Schwendicke F, Stolpe M. Direct pulp capping after a carious exposure versus root canal treatment: a cost-effectiveness analysis. *J Endod*. 2014;40:1764-70.
104. Moher D, Weeks L, Ocampo M, Seely D, Sampson M, Altman DG, et al. Describing reporting guidelines for health research: a systematic review. *J Clin Epidemiol*. 2011;64:718-42.
105. Grimshaw J. SURGE (The SURvey Reporting GuidelinE). Guidelines for Reporting Health Research: A User's Manual [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 2014 [cité 15 août 2021]. p. 206-13. Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118715598.ch20>

106. Eysenbach G. Improving the quality of Web surveys: the Checklist for Reporting Results of Internet E-Surveys (CHERRIES). *J Med Internet Res.* 2004;6:e34.
107. Shankar PR, Maturen KE. Survey Research Reporting in Radiology Publications: A Review of 2017 to 2018. *J Am Coll Radiol.* 2019;16:1378-84.
108. Duffett M, Burns KE, Adhikari NK, Arnold DM, Lauzier F, Kho ME, et al. Quality of reporting of surveys in critical care journals: a methodologic review. *Crit Care Med.* 2012;40:441-9.
109. Li AH-T, Thomas SM, Farag A, Duffett M, Garg AX, Naylor KL. Quality of survey reporting in nephrology journals: a methodologic review. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2014;9:2089-94.
110. Sharma A, Minh Duc NT, Luu Lam Thang T, Nam NH, Ng SJ, Abbas KS, et al. A Consensus-Based Checklist for Reporting of Survey Studies (CROSS). *J Gen Intern Med.* 2021;
111. Gasqui M-A, Pérard M, Decup F, Monsarrat P, Turpin Y-L, Villat C, et al. Place of a new radiological index in predicting pulp exposure before intervention for deep carious lesions. *Oral Radiol [Internet].* 2021 [cité 12 août 2021]; Disponible sur: <https://link.springer.com/10.1007/s11282-021-00530-w>
112. McBride G. A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient. 2005.
113. da Silva RP. Variations in caries diagnoses and treatment recommendations and their impacts on the costs of oral health care. *Community Dental Health.* 2012;25-8.
114. Luiz Mialhe F, Carlos Pereira A, Pardi V, de Castro Meneghim M. Comparison of three methods for detection of carious lesions in proximal surfaces versus direct visual examination after tooth separation. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry.* 2004;28:59-62.
115. Espelid I, Tveit AB, Riordan PJ. Radiographic caries diagnosis by clinicians in Norway and Western Australia. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1994;22:214-9.
116. Pitts NB. The use of bitewing radiographs in the management of dental caries: scientific and practical considerations. *Dentomaxillofacial Radiology.* 1996;25:5-16.
117. Al Jhany N. A comparative evaluation of the estimated radiographic remaining dentin thickness with the actual thickness below deep carious lesions on posterior teeth: An in vitro study. *Eur Endod J [Internet].* 2019 [cité 26 avr 2020]; Disponible sur: <http://eurendodj.com/jvi.aspx?un=EEJ-53825>
118. Lancaster PE, Craddock HL, Carmichael FA. Estimation of remaining dentine thickness below deep lesions of caries. *Br Dent J.* 2011;211:E20.
119. Nodine CF, Kundel HL. Using eye movements to study visual search and to improve tumor detection. *Radiographics.* 1987;7:1241-50.
120. van der Gijp A, Ravesloot CJ, Jarodzka H, van der Schaaf MF, van der Schaaf IC, van Schaik JPJ, et al. How visual search relates to visual diagnostic performance: a narrative systematic review of eye-tracking research in radiology. *Adv in Health Sci Educ.* 2017;22:765-87.
121. Geibel M-A, Carstens S, Braisch U, Rahman A, Herz M, Jablonski-Momeni A. Radiographic diagnosis of proximal caries-influence of experience and gender of the dental staff. *Clin Oral Investig.* 2017;21:2761-70.

122. Donald JJ, Barnard SA. Common patterns in 558 diagnostic radiology errors. *J Med Imaging Radiat Oncol.* 2012;56:173-8.
123. Lane EJ, Proto AV, Phillips TW. Mach bands and density perception. *Radiology.* 1976;121:9-17.
124. Eickholz P, Kolb I, Lenhard M, Hassfeld S, Staehle H. Digital radiography of interproximal caries: effect of different filters. *Caries Res.* 1999;33:234-41.
125. Lehmann TM, Troeltsch E, Spitzer K. Image processing and enhancement provided by commercial dental software programs. *Dentomaxillofac Radiol.* 2002;31:264-72.
126. Haiter-Neto F, Casanova MS, Frydenberg M, Wenzel A. Task-specific enhancement filters in storage phosphor images from the Vistascan system for detection of proximal caries lesions of known size. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;107:116-21.
127. Kajan ZD, Tayefeh Davaloo R, Tavangar M, Valizade F. The effects of noise reduction, sharpening, enhancement, and image magnification on diagnostic accuracy of a photostimulable phosphor system in the detection of non-cavitated approximal dental caries. *Imaging Science in Dentistry.* 2015;45:81.
128. Seneadza V, Koob A, Kaltschmitt J, Staehle HJ, Duwenhoegger J, Eickholz P. Digital enhancement of radiographs for assessment of interproximal dental caries. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008;37:142-8.
129. Møystad A, Svanaes DB, Risnes S, Larheim TA, Grøndahl HG. Detection of approximal caries with a storage phosphor system. A comparison of enhanced digital images with dental X-ray film. *Dentomaxillofac Radiol.* 1996;25:202-6.
130. Shokri A, Kasraei S, Lari S, Mahmoodzadeh M, Khaleghi A, Musavi S, et al. Efficacy of denoising and enhancement filters for detection of approximal and occlusal caries on digital intraoral radiographs. *Journal of Conservative Dentistry.* 2018;21:162.
131. Belém MDF, Ambrosano GMB, Tabchoury CPM, Ferreira-Santos RI, Haiter-Neto F. Performance of digital radiography with enhancement filters for the diagnosis of proximal caries. *Brazilian Oral Research.* 2013;27:245-51.
132. Haak R, Wicht MJ, Noack MJ. Conventional, digital and contrast-enhanced bitewing radiographs in the decision to restore approximal carious lesions. *Caries Res.* 2001;35:193-9.
133. Nascimento EH, Gaêta-Araujo H, Vasconcelos KF, Freire BB, Oliveira-Santos C, Haiter-Neto F, et al. Influence of brightness and contrast adjustments on the diagnosis of proximal caries lesions. *Dentomaxillofacial Radiology.* 2018;47:20180100.
134. LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature.* 2015;521:436-44.
135. Kumar V, Gu Y, Basu S, Berglund A, Eschrich SA, Schabath MB, et al. Radiomics: the process and the challenges. *Magnetic Resonance Imaging.* 2012;30:1234-48.
136. Parekh VS, Jacobs MA. Deep learning and radiomics in precision medicine. *Expert Review of Precision Medicine and Drug Development.* 2019;4:59-72.
137. Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, Ko J, Swetter SM, Blau HM, et al. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature.* 2017;542:115-8.

138. Gulshan V, Peng L, Coram M, Stumpe MC, Wu D, Narayanaswamy A, et al. Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs. *JAMA*. 2016;316:2402-10.
139. Becker AS, Marcon M, Ghafoor S, Wurnig MC, Frauenfelder T, Boss A. Deep Learning in Mammography: Diagnostic Accuracy of a Multipurpose Image Analysis Software in the Detection of Breast Cancer. *Invest Radiol*. 2017;52:434-40.
140. Schwendicke F, Golla T, Dreher M, Krois J. Convolutional neural networks for dental image diagnostics: A scoping review. *Journal of Dentistry*. 2019;91:103226.
141. Khanagar SB, Al-eaideb A, Maganur PC, Vishwanathaiah S, Patil S, Baeshen HA, et al. Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry – A systematic review. *Journal of Dental Sciences*. 2021;16:508-22.
142. Ekert T, Krois J, Schwendicke F. Building a mass online annotation tool for dental radiographic imagery. 2018; <https://openreview.net/forum?id=SkcgYEoiG>
143. Wang C-W, Huang C-T, Lee J-H, Li C-H, Chang S-W, Siao M-J, et al. A benchmark for comparison of dental radiography analysis algorithms. *Medical Image Analysis*. 2016;31:63-76.
144. Srivastava MM, Kumar P, Pradhan L, Varadarajan S. Detection of Tooth caries in Bitewing Radiographs using Deep Learning. arXiv:171107312 [cs] [Internet]. 2017 [cité 13 août 2021]; Disponible sur: <http://arxiv.org/abs/1711.07312>
145. Lee J-H, Kim D-H, Jeong S-N, Choi S-H. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of Dentistry*. 2018;77:106-11.
146. Cantu AG, Gehrung S, Krois J, Chaurasia A, Rossi JG, Gaudin R, et al. Detecting caries lesions of different radiographic extension on bitewings using deep learning. *Journal of Dentistry*. 2020;100:103425.

Annexe 1 : Questionnaire distribué lors de l'enquête réalisée dans les 16 UFR Françaises, sous l'égide du Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice, encadrée par les Professeurs Sophie Doméjean et Dominique Seux, intitulé « L'intervention minimale en cariology : connaissances et attitudes des étudiants français en chirurgie dentaire ».



L'INTERVENTION MINIMALE EN CARIOLOGIE
CONNAISSANCES ET ATTITUDES DES ETUDIANTS FRANÇAIS
EN CHIRURGIE DENTAIRE



Enquête réalisée dans les 16 UFR françaises sous l'égide du Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice (CNEOC) et encadrée par les Professeurs S. Doméjean et D. Seux.
Avec le partenariat de Colgate

R₁- Année de naissance :

R₂- Sexe : 1 Masculin 2 Féminin

R₃- Avez-vous lu des articles concernant l'Intervention Minimale en Cariologie en plus des cours dispensés lors de votre cursus universitaire ?

1 Oui 2 Non

EVALUATION DU RISQUE CARIEUX

R₄- Pensez-vous que votre formation initiale à propos de l'évaluation du risque carieux ait été suffisante ?

1 Oui 2 Non

R₅- Seriez-vous intéressé(e) par plus de formation à propos de l'évaluation du risque carieux ?

1 Oui 2 Non

R₆- Etablissez-vous vos plans de traitement de manière individuelle selon le niveau de risque carieux de vos patients ?

1 Oui 2 Non

R₇- Planifiez-vous régulièrement des traitements préventifs en fonction du risque carieux de vos patients ?

1 Oui 2 Non

R₈- Quel traitement préventif mettez-vous régulièrement en place ?

(Plusieurs choix possibles)

- 1 Scellement
- 2 Prescription de dentifrice fluoré <1500ppm
- 3 Prescription de dentifrice fluoré >1500ppm
- 4 Prescription de bains de bouche fluorés
- 5 Prescription de produits à base de calcium et de phosphate
- 6 Prescription de produits d'arginine
- 7 Application topique professionnelle de vernis fluoré
- 8 Application topique professionnelle de gel fluoré
- 9 Autres : précisez :

R₉- Quelle importance accordez-vous à chacun des facteurs listés ci-dessous pour l'élaboration d'un plan de traitement chez les patients âgés de plus de 18 ans ?

(Choisissez une seule proposition par facteur).

<i>Facteurs</i>	Pas important du tout	Légèrement important	Moyennement important	Très important	Extrêmement important
R_{9.1} - Age	1	2	3	4	5
R_{9.2} - Statut socio-économique	1	2	3	4	5
R_{9.3} - Hygiène buccodentaire	1	2	3	4	5
R_{9.4} - Présence d'une lésion carieuse active	1	2	3	4	5
R_{9.5} - Présence d'une lésion carieuse récente (< 3 ans)	1	2	3	4	5
R_{9.6} - Présence de plusieurs restaurations étendues	1	2	3	4	5
R_{9.7} - Présence d'appareils dentaires	1	2	3	4	5
R_{9.8} - Présence de récession gingivale ou d'exposition radiculaire	1	2	3	4	5
R_{9.9} - Utilisation actuelle de dentifrice fluoré	1	2	3	4	5
R_{9.10} - Régime alimentaire actuel	1	2	3	4	5
R_{9.11} - Votre propre évaluation subjective du patient	1	2	3	4	5
R_{9.12} - Fonction salivaire diminuée	1	2	3	4	5
R_{9.13} - Compréhension par le patient des causes de la maladie carieuse	1	2	3	4	5
R_{9.14} - Régularité des visites chez le dentiste	1	2	3	4	5
R_{9.15} - Motivation du patient	1	2	3	4	5
R_{9.16} - Remboursement	1	2	3	4	5

R₁₀- Pensez-vous qu'il y ait d'autres facteurs importants non listés ci-dessus, pour l'élaboration d'un plan de traitement ? Si oui, précisez :

R₁₁- Parmi la liste citée en question R₉, quels sont les 3 facteurs qui vous semblent les plus importants pour l'évaluation du risque carieux des patients de plus de 18 ans ?

(Utilisez les numéros des facteurs listés dans le tableau en question R₉)

-
-
-

R₁₂- Parmi la liste citée en question R₉, quels sont 3 facteurs qui vous semblent les moins pertinents voire hors sujet pour l'évaluation du risque carieux des patients de plus de 18 ans ?

(Utilisez les numéros des facteurs listés dans le tableau en question R₉)

-
-
-

R₁₃- Évaluez-vous le risque carieux des patients de façon individuelle ?

- 1 Oui
- 2 J'enregistre l'évaluation sur un formulaire spécifique conservé dans le dossier patient.
- 3 Je n'utilise pas de formulaire spécifique.
- 4 Non

R₁₄- Si vous ne réalisez pas l'évaluation du risque carieux, pour quelle(s) raison(s) ?

(Plusieurs choix possibles)

- 1 Vous trouvez que cela ne présente aucun intérêt
- 2 Vous pensez ne pas avoir les connaissances suffisantes
- 3 Absence de formation initiale sur ce thème
- 5 Manque de temps au fauteuil
- 6 Problème de facturation/rémunération
- 7 Autre : précisez :

R₁₅- Si vous ne réalisez pas l'évaluation du risque carieux par manque de temps, seriez-vous prêt à déléguer cette tâche ?

(Une seule réponse possible)

- 1 Oui, à un autre dentiste
- 2 Oui, à un auxiliaire de santé bucco-dentaire (hygiéniste/assistant(e) dentaire si la réglementation le permettait)
- 3 Non
- 4 Sans opinion

R₁₆- Qu'est-ce que représente pour vous l'Intervention Minimale en Cariologie ?

(Plusieurs choix possibles)

- 1 Un concept de soins basé sur de la dentisterie restauratrice invasive a minima.
- 2 Un concept de soins basé sur l'utilisation d'aides optiques (loupes, microscopes...)
- 3 Un concept de soins à appliquer uniquement en pédodontie.
- 4 Un concept de soins basé sur la compréhension des facteurs de risque.
- 5 Un concept de soins basé sur la prévention.
- 6 Un concept de soins qui ne peut pas être appliqué en omni pratique libérale.
- 7 Un concept de soins qui n'est applicable qu'au domaine de la santé publique.
- 8 Un concept de soins qui peut être appliqué en omni pratique libérale.
- 9 Vous ne savez pas précisément ce qu'est l'Intervention Minimale en Cariologie.

SCELLEMENTS PREVENTIFS ET THERAPEUTIQUES

R₁₇- Etes-vous d'accord avec les déclarations suivantes ?

(Un seul choix possible par ligne)

	Désaccord total	Désaccord partiel	Neutre	Accord partiel	Accord total
R_{17.1}- Il existe de fortes preuves scientifiques de l'efficacité cario-préventive des scellements.	1	2	3	4	5
R_{17.2}- Il existe des preuves scientifiques de l'efficacité des scellements des lésions carieuses non cavitaires.	1	2	3	4	5
R_{17.3}- Les scellements doivent faire l'objet d'un suivi.	1	2	3	4	5
R_{17.4}- La perte d'un scellement est généralement liée à un problème technique lors de sa réalisation.	1	2	3	4	5
R_{17.5}- Les scellements réalisés à l'aide d'une résine composite sont plus efficaces que ceux réalisés avec du ciment verre ionomère (CVI).	1	2	3	4	5
R_{17.6}- Aussi longtemps que le scellement est en place, la face scellée ne développera pas de lésion carieuse.	1	2	3	4	5

LES SCELLEMENTS PREVENTIFS

R₁₈- Chez quels patients mettez-vous en œuvre des scellements préventifs ?

(Un seul choix possible)

- 0 Je ne fais jamais de scellement préventif
- 1 Uniquement chez les enfants
- 2 Uniquement chez les adultes
- 3 Chez les enfants et les adultes

R₁₉- Pour quel niveau de risque carieux indiquez-vous les scellements préventifs ?

(Un seul choix possible)

- 0 Je ne fais jamais de scellement préventif
- 1 Uniquement lorsque le risque carieux est faible
- 2 Uniquement lorsque le risque carieux est élevé
- 3 Le niveau de risque carieux importe peu

R₂₀- Quel(s) matériau(x) utilisez-vous pour les scellements préventifs ?

(Plusieurs choix possibles)

- 0 Je ne fais jamais de scellement préventif
- 1 Ciment verre ionomère (CVI)
- 2 Résine composite
- 3 Ciment verre ionomère modifié par adjonction de résine (CVI MAR)
- 4 Autres : Précisez :
- 5 Je ne sais pas

R₂₁- Est-ce que vous accompagnez les scellements préventifs d'une autre mesure préventive ?

- 1 Oui
- 2 Non
- 0 Je ne fais jamais de scellement préventif

R₂₂- Si oui à la question précédente, quelle(s) mesure(s) préventive(s) associez-vous aux scellements préventifs ? *(Un seul choix possible par ligne)*

	Jamais	Uniquement chez l'enfant	Uniquement chez l'adulte	Chez l'enfant et l'adulte
<i>Apprentissage d'une technique de brossage et de l'utilisation du fil dentaire/de brossettes interdentaires</i>	0	1	2	3
<i>Prescription de dentifrice fluoré <1500 ppm</i>	0	1	2	3
<i>Prescription de dentifrice fluoré >1500 ppm</i>	0	1	2	3
<i>Prescription de bains de bouche fluorés</i>	0	1	2	3
<i>Prescription de produits à base de calcium et de phosphate</i>	0	1	2	3
<i>Prescription de produits à base d'arginine</i>	0	1	2	3
<i>Application topique professionnelle de vernis fluoré</i>	0	1	2	3
<i>Application topique professionnelle de gel fluoré</i>	0	1	2	3
<i>Autres : précisez :</i>				

R₂₃- Si vous ne réalisez pas de scellements préventifs, pour quelle(s) raison(s) ?

(Plusieurs choix possibles)

- 1 Efficacité non démontrée /Manque d'efficacité
- 2 Absence de recommandations claires sur les dents/les lésions à sceller
- 3 Absence de couverture par les caisses d'assurance maladie si le patient a plus de 14 ans et si la dent concernée n'est pas une molaire
- 4 Manque de rentabilité (aspect financier)
- 5 Les patients ont du mal à en comprendre l'intérêt
- 6 Risque de sceller alors qu'une lésion carieuse est présente
- 7 Risque d'apparition d'une lésion carieuse sous le scellement
- 8 Risque d'apparition de lésions carieuses proximales
- 9 Sur-traitement : la dent pourrait ne jamais se carier même sans scellement
- 10 Technique trop méticuleuse/ trop compliquée à réaliser
- 11 Manque de formation/d'information
- 12 Autres raisons. Précisez :

LES SCHELLEMENTS THERAPEUTIQUES

R₂₄- Vous arrive-t-il de placer des scellements thérapeutiques sur des lésions carieuses non-cavitaires ?

(Un seul choix possible)

- 1 Oui, je scelle sur des lésions débutantes lorsque l'indication se présente.
- 2 Non :
 - 2.1 mais je serais prêt à le faire
 - 2.2 car sceller ne fait pas partie des bonnes pratiques lorsqu'il y a une lésion carieuse.
 - 2.3 car je ne veux pas sceller lorsqu'il y a une lésion carieuse.

R₂₅- Si vous réalisez des scellements thérapeutiques de lésions carieuses non-cavitaires, chez quels patients les mettez-vous en œuvre ?

(Un seul choix possible)

- 0 Je ne fais jamais de scellement thérapeutique
- 1 Uniquement chez l'enfant
- 2 Uniquement chez l'adulte
- 3 Chez l'enfant et adulte

R₂₆- Si vous réalisez des scellements thérapeutiques de lésions carieuses non-cavitaires, pour quel niveau de risque carieux les indiquez-vous ?

(Un seul choix possible)

- 0 Je ne fais jamais de scellement thérapeutique
- 1 Uniquement lorsque le risque carieux est faible
- 2 Uniquement lorsque le risque carieux est élevé
- 3 Le niveau de risque carieux importe peu

R₂₇- Si vous réalisez des scellements thérapeutiques de lésions carieuses non-cavitaires, quel(s) matériau(x) utilisez-vous ?

(Plusieurs choix possibles)

- 0 Je ne fais jamais de scellement thérapeutique
- 1 Ciment verre ionomère (CVI)
- 2 Résine composite
- 3 Ciment verre ionomère modifié par adjonction de résine (CVI MAR)
- 4 Autres : Précisez :
- 5 Je ne sais pas.

R₂₈- Si vous ne réalisez jamais de scellements thérapeutiques, pour quelle(s) raison(s) ?

(Plusieurs choix possibles)

- 1 Efficacité non démontrée /Manque d'efficacité
- 2 Absence de recommandations claires sur les dents/les lésions nécessitant un scellement
- 3 Absence de couverture par les caisses d'assurance maladie
- 4 Manque de rentabilité (aspect financier)
- 5 Les patients ont du mal à en comprendre l'intérêt
- 6 Risque d'aggravation de la lésion carieuse sous le scellement
- 7 Risque d'apparition de lésions carieuses proximales
- 8 Technique trop méticuleuse/ trop compliquée à réaliser
- 9 Manque de formation/d'information
- 10 Autres raisons. Précisez :

R₂₉- Seriez-vous prêt à déléguer la réalisation des scellements préventifs ou thérapeutiques ?

(Un seul choix possible)

- 1 Oui, à un collaborateur ou à un référent ayant un diplôme de docteur en chirurgie dentaire.
- 2 Oui, à une auxiliaire de santé bucco-dentaire (hygiénistes ou assistants(es) dentaires par exemple) si la réglementation le permettait.
- 3 Non
- 4 Sans opinion

R₃₀- Connaissez-vous les recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS) à propos des scellements ?

- 1 Oui
- 2 Non

R₃₁- Concernant les scellements (préventifs et thérapeutiques), pensez-vous que votre formation ait été suffisante ?

(Un seul choix possible)

- 1 Oui
- 2 Non
- 3 Sans opinion

R₃₂- Seriez-vous intéressé(e) par plus de formation sur le thème des scellements ?

(Un seul choix possible)

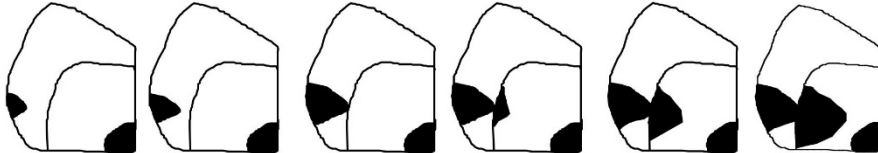
- 1 Oui
- 2 Non
- 3 Sans opinion

SEUIL RESTAURATEUR

R₃₃- Les figures ci-dessous montrent différents stades radiographiques d'évolution de lésions carieuses proximales.

Quelle(s) lésion(s) vous semble(nt) nécessiter la préparation d'une cavité puis une obturation même si l'activité carieuse du patient est faible et son hygiène bucco-dentaire satisfaisante ?

(Cochez le ou les stades que vous décideriez de traiter chirurgicalement)



Ne dépasse pas la moitié externe de l'émail	Entre la moitié et les 2/3 externes de l'émail	Jusqu'à la jonction amélo-dentinaire	Dans le 1/3 externe de la dentine	Ne dépasse pas les 2/3 externes de la dentine	Dans le 1/3 interne de la dentine
1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>

R₃₄- Quel type de préparation réaliseriez-vous pour la plus petite lésion que vous avez choisi d'obturer précédemment, si cette lésion se situe en distal d'une 15 ?

Le patient est âgé de 20 ans, son hygiène bucco-dentaire est satisfaisante, il utilise du dentifrice fluoré et consulte le dentiste chaque année.

(Un seul choix possible)

- 1 Classe II de Black
- 2 Préparation « tunnel »
- 3 Préparation occluso-proximale limitée à l'ouverture et au curetage de la lésion

R₃₅- Dans le cas décrit ci-dessus, quel matériau de restauration choisiriez-vous ?





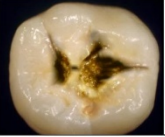
(Un seul choix possible)

- 1 Amalgame
- 2 Résine composite (chargée ou non)
- 3 CVI conventionnel
- 4 CVI photopolymérisable
- 5 CVI recouvert par une résine composite
- 6 Autre : (veuillez préciser)

R₃₆- Les images ci-dessous montrent différents stades cliniques d'évolution d'une lésion carieuse occlusale.

Quelle(s) lésion(s) vous semble(nt) nécessiter une préparation de cavité et une obturation même si l'activité carieuse du patient est faible et son hygiène bucco-dentaire satisfaisante ?

(Cochez le ou les stades que vous décideriez de traiter)

				
Lésion non-cavitaire caractérisée par une coloration blanche ou brune de l'émail, sans aucun signe radiologique	Perte de substance minimale avec rupture de la surface amélaire ou colorations de surface ou colorations amélaire grises/opaques au niveau des sillons et/ou lésion carieuse limitée à l'émail	Perte de substance modérée ; lésion carieuse détectable à la radiographie dans le 1/3 externe de la dentine	Perte de substance majeure ; lésion carieuse détectable à la radiographie dans le 1/3 moyen de la dentine	Perte de substance majeure ; lésion carieuse détectable à la radiographie dans le 1/3 interne de la dentine
1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

R₃₇- Quel type de préparation utiliseriez-vous pour une obturation occlusale sur une 2^{ème} molaire mandibulaire présentant la plus petite lésion que vous avez précédemment choisi de traiter ?

Le patient est âgé de 20 ans, son hygiène est satisfaisante, il utilise un dentifrice fluoré et consulte le dentiste chaque année.

(Un seul choix possible)

- 1 Préparation limitée au curetage
- 2 Extension de la cavité à l'ensemble des sillons
- 3 Autre : Précisez :

R₃₈- Dans le cas décrit ci-dessus, quel matériau de restauration choisiriez-vous ?

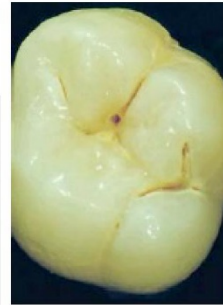
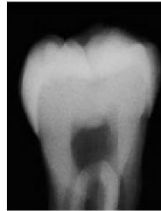
(Un seul choix possible)

- 1 Amalgame
- 2 Résine composite (chargée ou non)
- 3 CVI conventionnel
- 4 CVI photopolymérisable
- 5 CVI recouvert par une résine composite
- 6 Autre : (veuillez préciser)

R₃₉- Pensez-vous que la dent ci-contre présente une lésion carieuse occlusale en vous basant sur l'image radiographique et la vue clinique.

(Un seul choix possible)

- 1 Il n'y a pas de lésion
- 2 La lésion carieuse n'atteint que l'émail
- 3 La lésion carieuse atteint la dentine
- 4 Je suis incertain(e)



R₄₀- De quelle manière traiteriez-vous cette dent ?

Le patient est âgé de 20 ans, vous ne l'avez jamais examiné avant et il s'est écoulé 2 ans depuis son dernier bilan.

Le patient utilise quotidiennement un dentifrice fluoré, son hygiène bucco-dentaire est satisfaisante et il ne présente aucun problème particulier concernant ses habitudes alimentaires.

(Un seul choix possible)

- 1 Aucun traitement
- 2 Application de fluor
- 3 Scellement des sillons
- 4 Obturation d'une cavité limitée au curetage de la lésion carieuse
- 5 Obturation d'une cavité limitée au curetage de la lésion carieuse associée à un scellement des sillons
- 6 Obturation d'une cavité englobant tous les sillons

R₄₁- Si vous avez décidé de restaurer cette dent, quel matériau de restauration utiliseriez-vous ?

Prenez comme exemple la seconde molaire maxillaire.

(Un seul choix possible)

- 1 Amalgame
- 2 Résine composite (chargée ou non)
- 3 CVI conventionnel
- 4 CVI photopolymérisable
- 5 CVI recouvert par une résine composite
- 6 Autre : (veuillez préciser).....

R42- Pensez-vous que la dent ci-contre présente une lésion carieuse occlusale en vous basant sur l'image radiographique et la vue clinique.

(Un seul choix possible)

- 1 Il n'y a pas de lésion
- 2 La lésion carieuse n'atteint que l'émail
- 3 La lésion carieuse atteint la dentine
- 4 Je suis incertain(e)



R43- De quelle manière traiteriez-vous cette dent ?

Le patient est âgé de 20 ans, vous ne l'avez jamais examiné avant et il s'est écoulé 2 ans depuis son dernier bilan.

Le patient utilise quotidiennement un dentifrice fluoré, son hygiène bucco-dentaire est satisfaisante et il ne présente aucun problème particulier concernant ses habitudes alimentaires.

(Un seul choix possible)

- 1 Aucun traitement
- 2 Application de fluor
- 3 Scellement des sillons
- 4 Obturation d'une cavité limitée au curetage de la lésion carieuse
- 5 Obturation d'une cavité limitée au curetage de la lésion carieuse associée à un scellement des sillons
- 6 Obturation d'une cavité englobant tous les sillons

R44- Si vous décidez de restaurer cette dent, quel matériau de restauration utiliseriez-vous ?

Prenez la seconde molaire mandibulaire comme exemple.

(Un seul choix possible)

- 1 Amalgame
- 2 Résine composite (chargée ou non)
- 3 CVI conventionnel
- 4 CVI photopolymérisable
- 5 CVI recouvert par une résine composite
- 6 Autre : (veuillez préciser).....

R45- Pour les lésions carieuses proximales, quelle proposition vous semble la plus correcte ?

(Un seul choix possible)

- 1 L'image radiographique reflète la réalité clinique.
- 2 L'image radiographique sous-estime la réalité clinique.
- 3 L'image radiographique sur-estime la réalité clinique.

R46- Quel est le temps moyen pour qu'une lésion proximale d'une dent permanente progresse de l'émail superficiel à la jonction amélo-dentinaire ?

Votre patient est âgé de 20 ans, son hygiène bucco-dentaire est satisfaisante, il utilise du dentifrice fluoré et consulte le dentiste chaque année.

(Un seul choix possible)

- 1 < 6 mois
- 2 6 mois
- 3 de 7 à 11 mois
- 4 12 mois
- 5 de 13 à 23 mois
- 6 > 24 mois

R₄₇- Vous détectez radiographiquement une lésion carieuse proximale qui atteint la jonction amélo-dentinaire.

Votre patient est âgé de 20 ans, son hygiène bucco-dentaire est satisfaisante, il utilise du dentifrice fluoré et consulte le dentiste chaque année.

« Il faut instaurer un suivi sur 6 mois avant tout traitement restaurateur dans le but d'évaluer l'activité de la lésion et sa vitesse de progression. »

(Un seul choix possible)

- 1 Je suis d'accord avec cette proposition.
- 2 Je ne suis pas d'accord avec cette proposition.
- 3 Je suis incertain.

R₄₈- Dans le cas de lésion proximale, la présence d'une cavité est généralement détectable quand la jonction amélo-dentinaire est atteinte.

(Un seul choix possible)

- 1 Je suis d'accord avec cette proposition.
- 2 Je ne suis pas d'accord avec cette proposition.
- 3 Je suis incertain.

R₄₉- Que vous semble-t-il le plus important ?

(Un seul choix possible)

- 1 Restaurer toutes les lésions carieuses détectées.
- 2 Ne pas obturer une dent saine inutilement.
- 3 Eviter les erreurs de sur ou de sous-traitement est d'égale importance.

LESIONS CARIEUSES PROFONDES

Une lésion profonde est une lésion dentinaire qui présente, à la radiographie, un risque d'exposition pulpaire lors du curetage.

R₅₀- Sur quels critères cliniques vous basez-vous pour affirmer que le curetage d'une lésion carieuse primaire para-pulpaire est satisfaisant ?

(Un seul choix possible par facteur)

R_{50.1}- *Consistance*

- 1 Lorsque le fond de la cavité est mou
- 2 Lorsque le fond de la cavité est « comme du cuir »
- 3 Lorsque le fond de la cavité est dur sous la fraise
- 4 La consistance n'a aucune incidence sur mon curetage

R_{50.2}- *Teinte*

- 1 Lorsque le fond de la cavité est très fortement coloré (brun sombre)
- 2 Lorsque le fond de la cavité est normal à jaunâtre
- 3 La couleur n'a aucune incidence sur mon curetage

R_{50.3}- *Humidité*

- 1 Lorsque le fond de la cavité est très humide
- 2 Lorsque le fond de la cavité est légèrement humide
- 3 Lorsque le fond de la cavité est sec
- 4 L'humidité n'a aucune incidence sur mon curetage

Autres critères : Précisez

R₅₁- Parmi les propositions suivantes, quelles techniques employez-vous pour le curetage dentinaire des zones para-pulpaire ?

R_{51.1}- Fraise diamantée
1 Oui 2 Non

R_{51.4}- Fraise céramique
1 Oui 2 Non

R_{51.2}- Fraise en carbure de tungstène
1 Oui 2 Non

R_{51.5}- Technique chimio-mécanique (Carisolv®)
1 Oui 2 Non

R_{51.3}- Excavateur manuel
1 Oui 2 Non

Autres : Précisez :

R₅₂- Vous vous référez à une dent vivante asymptomatique présentant une lésion carieuse dentinaire profonde chez une patiente de 20 ans, comment procédez-vous préférentiellement ?
(Un seul choix possible)

Options thérapeutiques		Votre choix
<i>Je réalise un curetage dentinaire complet basé sur la dureté ; en cas d'effraction pulpaire de petite taille, je réalise un coiffage pulpaire direct.</i>		1
<i>Je réalise un curetage dentinaire complet basé sur la dureté ; en cas d'effraction pulpaire, je réalise le traitement endodontique</i>		2
<i>Je réalise un curetage dentinaire complet en 2 temps (stepwise excavation) ; en cas de risque d'effraction pulpaire, je laisse de la dentine cariée para-pulpaire et je finis le curetage après quelques semaines/mois plus tard</i>		3
<i>Je réalise un curetage dentinaire partiel ; en cas de risque d'effraction pulpaire, je laisse de la dentine cariée para-pulpaire et je réalise l'obturation définitive.</i>	<i>Après 6 semaines à 3 mois</i>	4
	<i>Après 3 à 6 mois</i>	5
	<i>Après plus de 6 mois</i>	6

R₅₃- Quel(s) matériau(x) utiliseriez-vous en fond de cavité sous une restauration adhésive ?
(Plusieurs choix possibles)

	R_{53.1} - Coiffage pulpaire direct	R_{53.2} - Coiffage pulpaire indirect en 1 temps	R_{53.3} - Coiffage pulpaire indirect en 2 temps
Suspension d'hydroxyde de calcium (non durcissant)	1	1	1
Ciment à l'hydroxyde de calcium (durcissant)	2	2	2
IRM ou CVI	3	3	3
Adhésif directement sur la dentine sans interposition de fond de cavité	4	4	4
Autres Précisez555

R₅₄- Face à une exposition pulpaire lors du curetage dentinaire sur une patiente de 20 ans, quelle serait votre attitude thérapeutique préférentielle dans les situations cliniques suivantes ?

(Un seul choix possible par ligne)

	Coiffage pulpaire direct	Pulpotomie partielle	Traitement endodontique
R_{54.1} - Absence de symptomatologie pulpaire	1	2	3
R_{54.2} - Présence de symptomatologie pulpaire	1	2	3

R₅₅- Dans le cas d'une lésion carieuse para-pulpaire avérée, dans quelle situation clinique auriez-vous recours au traitement endodontique en première intention ?

(Un seul choix possible)

- Pas de symptomatologie / Pas de plainte subjective ou d'antécédent douloureux
 Symptomatologie / Douleur aiguë transitoire ou sensibilité au chaud-froid
 Je choisis généralement une autre thérapeutique que le traitement endodontique

R₅₆- Utilisez-vous les procédures thérapeutiques suivantes lors de la prise en charge des lésions carieuses profondes :

(Plusieurs choix possibles)

	R_{56.1} - Digue	R_{56.2} - Désinfection de la cavité	R_{56.3} - Colorant marqueur de carie
Oui	1	1	1
Non	0	0	0

R₅₇- Parmi les propositions suivantes, quelles sont les principales raisons qui ont guidé vos options thérapeutiques ?

(Plusieurs choix possibles)

- Facilité de réalisation, maîtrise technique
 Bons résultats
 Efficacité prouvée par des études cliniques
 Recommandé par des confrères / des enseignants
 Recommandé dans les guides de bonne pratique
 Recommandé dans des livres
 Technique peu onéreuse à mettre en œuvre
 Autres : précisez.....

R₅₈- Quels sont les principaux facteurs sur lesquels se base votre choix thérapeutique ?

(Plusieurs choix possibles)

- Etat général du patient
 Age du patient
 Santé orale du patient (notamment risque carieux)
 Attitude et demande du patient
 Importance de la perte de substance coronaire
 Type de dent (antérieure, postérieure)
 Présence d'autres restaurations sur la dent concernée
 Durée de la prise en charge globale
 Autres : précisez.....

R₅₉- Quelle est votre opinion quant aux affirmations suivantes qui sont liées au fait de laisser de la dentine cariée sous une restauration ?

(Un seul choix possible par ligne)

	Désaccord total	Désaccord partiel	Accord partiel	Accord total	Sans opinion
R_{59.1} - <i>Les micro-organismes cariogènes doivent tous être éliminés sinon la lésion carieuse progresse sous la restauration.</i>	1	2	4	5	0
R_{59.2} - <i>Une certaine quantité de micro-organismes peut persister sous la restauration car, si elle est hermétique, la lésion carieuse ne progressera pas.</i>	1	2	4	5	0
R_{59.3} - <i>La lésion carieuse doit être complètement éliminée car elle présente un danger pour la vitalité pulpaire.</i>	1	2	4	5	0
R_{59.4} - <i>Dans le cas d'une lésion carieuse para-pulpaire, il faut préserver les tissus dentaires à proximité du complexe pulpo-dentinaire pour prévenir toute effraction pulpaire.</i>	1	2	4	5	0

R60- Quels sont vos diagnostic et thérapeutique pour les cas cliniques présentés ci-dessous ?

R60.1- Cas clinique n°1 : Etudiante de 25 ans

Anamnèse générale : Aucun antécédent médical, ni allergie connue, contraception orale depuis 6 ans.

Anamnèse dentaire : Avulsion de la première molaire mandibulaire gauche (36) il y a 3 ans.

Hygiène bucco-dentaire : Brossage 2 fois par jour, dentifrice fluoré, pas de bain de bouche ni fil dentaire.

Motif de consultation : Sensibilité sur la 16 (douleur provoquée à la mastication et lors de l'absorption de liquide froid).

Examen clinique et radiologique

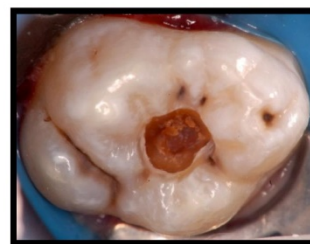
- Lésion carieuse cavitaire localisée à la moitié interne de la dentine.
- Tissu carieux central sensiblement ramolli ; dentine carieuse humide de couleur jaunâtre.
- Test thermique de sensibilité pulpaire positif (la réponse douloureuse ne se prolonge pas au-delà du test) ; test à la percussion verticale négatif.
- Absence d'image péri-apicale à la radiographie rétro-alvéolaire.



Vue occlusale



Radiographie rétro-alvéolaire



Après ouverture de la lésion

	Diagnostic <i>(Un seul choix possible)</i>	Thérapeutique <i>(Un seul choix possible)</i>
Cas 1	1 <input type="checkbox"/> Lésion carieuse dentinaire 2 <input type="checkbox"/> Pulpite réversible 3 <input type="checkbox"/> Pulpite irréversible	1 <input type="checkbox"/> Curetage dentinaire complet en 1 temps 2 <input type="checkbox"/> Curetage dentinaire complet en 2 temps 3 <input type="checkbox"/> Curetage dentinaire partiel 4 <input type="checkbox"/> Pulpotomie 5 <input type="checkbox"/> Pulpectomie

R60.2- Cas clinique n°2 : Collégienne de 11 ans

Anamnèse générale : Aucun antécédent médical, ni allergie connue.

Anamnèse dentaire : La patiente vit avec sa mère et ses 5 frères et sœurs aînés, et bénéficie de la CMU ; la patiente n'est jamais allée chez le dentiste auparavant.

Hygiène bucco-dentaire : Brossage 2 fois par jour, dentifrice fluoré, pas de bain de bouche ni fil dentaire.

Motif de consultation : Contrôle en lien avec une discrète sensibilité au froid sur la 46.

Examen clinique et radiologique

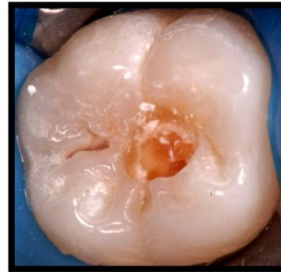
- Lésion carieuse cavitaire localisée à la 1/2 interne de la dentine avec des bords opaques suggérant une lésion active.
- Tissu carieux central sensiblement ramolli ; dentine carieuse humide de couleur jaunâtre.
- Test thermique de sensibilité pulpaire positif (la réponse douloureuse ne se prolonge pas au-delà du test) ; test à la percussion verticale négatif.
- Absence d'image péri-apicale à la radiographie rétro-alvéolaire.



Vue occlusale



Radiographie rétro-alvéolaire



Après ouverture de la lésion

	Diagnostic <i>(Un seul choix possible)</i>	Thérapeutique <i>(Un seul choix possible)</i>
Cas 2	1 <input type="checkbox"/> Lésion carieuse dentinaire 2 <input type="checkbox"/> Pulpite réversible 3 <input type="checkbox"/> Pulpite irréversible	1 <input type="checkbox"/> Curetage dentinaire complet en 1 temps 2 <input type="checkbox"/> Curetage dentinaire complet en 2 temps 3 <input type="checkbox"/> Curetage dentinaire partiel 4 <input type="checkbox"/> Pulpotomie 5 <input type="checkbox"/> Pulpectomie

R60.4- Cas clinique n°3 : Collégien de 14 ans

Anamnèse générale Aucun antécédent médical, ni allergie connue.

Anamnèse dentaire Avulsion d'une dent surnuméraire il y a un an.

Hygiène bucco-dentaire Brossage 4 fois par jour, dentifrice fluoré, pas de bain de bouche ni fil dentaire.

Motif de consultation Douleur provoquée sur 46 lors de la mastication et la prise d'aliments sucrés.

Examen clinique et radiologique

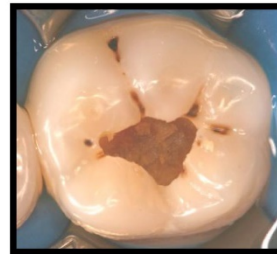
- Lésion carieuse cavitaire localisée à la moitié interne de la dentine.
- Tissu carieux central sensiblement ramolli ; dentine carieuse humide de couleur marron sombre.
- Test thermique de sensibilité pulpaire positif (la réponse douloureuse ne se prolonge pas au-delà du test) ; test à la percussion verticale négatif.
- Absence d'image péri-apicale à la radiographie rétro-alvéolaire.



Vue occlusale
lésion



Radiographie rétro-alvéolaire



Après ouverture de la

	Diagnostic <i>(Un seul choix possible)</i>	Thérapeutique <i>(Un seul choix possible)</i>
Cas 3	1 <input type="checkbox"/> Lésion carieuse dentinaire 2 <input type="checkbox"/> Pulpite réversible 3 <input type="checkbox"/> Pulpite irréversible	1 <input type="checkbox"/> Curetage dentinaire complet en 1 temps 2 <input type="checkbox"/> Curetage dentinaire complet en 2 temps 3 <input type="checkbox"/> Curetage dentinaire partiel 4 <input type="checkbox"/> Pulpotomie 5 <input type="checkbox"/> Pulpectomie

MERCI POUR VOTRE PARTICIPATION !

Les résultats scientifiques de cette enquête seront traités en toute indépendance par rapport au partenaire industriel.

Knowledge and opinions of French dental students related to caries risk assessment and dental sealants (preventive and therapeutic)

**Justine Le Clerc, Marie-Agnès Gasqui,
Laurent Laforest, Maxime Beaurain,
Romain Ceinos, Florence Chemla,
Valérie Chevalier, et al.**

Odontology

Official Journal of the Society of the
Nippon Dental University

ISSN 1618-1247

Odontology

DOI 10.1007/s10266-020-00527-7



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by The Society of The Nippon Dental University. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".



Knowledge and opinions of French dental students related to caries risk assessment and dental sealants (preventive and therapeutic)

Justine Le Clerc¹ · Marie-Agnès Gasqui² · Laurent Laforest³ · Maxime Beaurain⁴ · Romain Ceinos^{5,6,7} · Florence Chemla^{8,9} · Valérie Chevalier^{10,11,12} · Pierre Colon^{13,14} · Florence Fioretti¹⁵ · Alexis Gevrey¹⁶ · Olivia Kérourédan^{17,18,19} · Delphine Maret²⁰ · Caroline Mocquot^{13,14} · Canan Özcan²¹ · Bruno Pelissier²² · Fabienne Pérez²³ · Elodie Terrer²⁴ · Yann-Loïg Turpin²⁵ · Reza Arbab-Chirani^{10,11,26} · Dominique Seux² · Sophie Doméjean^{27,28}

Received: 27 February 2020 / Accepted: 7 May 2020

© The Society of The Nippon Dental University 2020

Abstract

Objectives A national questionnaire study was performed to document knowledge and opinions of French dental students (FDSs) about minimal intervention (MI) in dentistry especially caries risk assessment (CRA) and dental sealants (DSs).

Materials and methods A questionnaire was administered to the fifth-year dental FDSs ($n = 1370$) from the 16 French dental schools. Descriptive and statistical analyses were performed.

Results The response rate was 84.5%. A large majority of respondents (87.8%) linked MI with minimally invasive dentistry and 77.4% considered MI as a concept based on prevention. About 80% stated they use CRA in clinical practice, mostly without any specific form. If 80.4% of the respondents would base their treatment plans on CRA, only 55.1% would regularly plan preventive regimens according to individual risk level. However, while 96.6% declared they perform preventive DSs, only 44.3% considered therapeutic sealants as a routine treatment. Although 75.1% of FDSs stated that they had sufficient learning and training related to CRA, 55.9% thought that they need further education about preventive and therapeutic DSs.

Conclusion Although FDSs seem to be aware of the importance of CRA and preventive strategies, this study shows the need to harmonize the teaching in cariology according to the latest European recommendations.

Clinical relevance A national questionnaire study showed variability towards knowledge and opinions of FDSs related to MI in cariology. This may impact care provisions in their future professional life showing the urgent need to harmonize the teaching of MI in cariology in France.

Keywords Minimal intervention dentistry · Caries risk assessment · Dental sealants · Dental students · Questionnaire survey

Introduction

Minimal intervention in dentistry (MID) in general and in cariology in particular was first described in the literature with two major articles in the early 1990s [1, 2]. Indeed, Dawson and Makinson introduced an emerging movement in the late 1980s in UK, which denounced the inadequacy between patient needs and care provision in restorative dentistry. In 1992, the foundations of MID were thus laid as these two authors suggested that “Prevention”,

“Remineralization”, “Minimal intervention” and “Reducing the rate of restoration placement” could be combined to achieve a less destructive form of dental treatment [2]. Since then, in the light of accumulated knowledge in cariology (histology, microbiology, pathophysiology, validated clinical procedures), this has led to the development of various diagnosis and treatment concepts [3–8]. The latest comprehensive practice guide Caries Care International [8] promotes a patient-centered, risk-based approach to caries management designed for dental practice. It advocates for a health outcome-focused system that aims to maintain oral health and preserve tooth structure in the long term. In that context, this is obvious that caries risk assessment (CRA)

✉ Sophie Doméjean
sophie.domejean@uca.fr

Extended author information available on the last page of the article

as well as preventive and non-invasive cares [such as dental sealants (DSs)] are essential in caries management.

Questionnaire surveys were conducted in France to assess professional dental practice in terms of minimal intervention (MI) in caries management. In general, studies investigating various domains of caries management (CRA use, DSs placement, restorative threshold for both occlusal and approximal lesion and deep caries management) showed that MI is still insufficiently implemented in everyday clinical practice by French general dental practitioners (FGDPs) practicing in France [9–13]. It is known that changing professional practice takes time [14] and is subordinated to a range of factors related to financial considerations (such as remuneration or risk of losing incomes), patients demands and expectations, organizational factors (delegation possibility), GDPs personal attitudes (personal resistance and inertia to change) and, of course, to GDPs education (pre- and post-graduate) [15]. It might be speculated that the gap between science and clinical practice described among FGDPs and worldwide [16] could find its origin in dental schools. In that context, the French national college of teachers in conservative dentistry (collège national des enseignants en odontologie conservatrice or CNEOC) started giving thought to what French dental students (FDSs) of the 16 French dental schools know about MI.

A study, which is the first of its kind in France, was thus undertaken to investigate the knowledge and opinions of FDSs at a national level about several areas of MI in cariology, namely CRA, DSs (preventive and therapeutic), restorative threshold and strategies for approximal and occlusal lesions, and deep carious lesion management. The present manuscript focuses on the first two above-mentioned areas i.e. CRA and DSs.

Materials and methods

A questionnaire survey was administered during spring 2018 to the fifth-year FDSs from the 16 French dental schools. This project is institutionally supported by the CNEOC. The printing and postal-mailing costs were sponsored by Colgate® France.

Population study and questionnaire administration

The study involved all fifth-year (penultimate year before graduation) FDSs ($n = 1370$ in 2018) from the 16 French dental schools (Bordeaux, Brest, Clermont-Ferrand, Lille, Lyon, Marseille, Montpellier, Nancy, Nantes, Nice, Paris Descartes, Paris Diderot, Reims, Rennes, Strasbourg and Toulouse).

A compilation of five questionnaires that had been previously used for surveys among FGDPs and French university

teachers [9–13, 17] was auto-administrated (paper format—18 pages) to the FDSs in a specific session organized in each of the 16 French dental schools. It consisted of several question formats (yes/no questions, closed-ended questions with forced choice or multiple allowable answers and open-ended questions with open-ended written); five different parts can be identified and can be divided in the following sections:

Section 1: demographic characteristics of the respondents (birth year and gender); and a question related to the reading of scientific articles about MI in cariology in addition to academic lectures and tutorials;

Section 2: 13 questions related to CRA [12];

Section 3: 16 questions related to preventive and therapeutic DSs [11];

Section 4: 17 questions related to restorative threshold for approximal and occlusal carious lesions, to two clinical cases of minor or questionable occlusal lesions (based on occlusal views and radiographs) and to beliefs about selected aspects of caries diagnosis/treatment [9, 10, 17];

Section 5: 13 questions related to deep carious lesion management (including three clinical cases) [13].

The content of the different sections is detailed in the principles articles [9–13, 17].

Capture and analysis of data

Data were entered into Excel spread sheets by four people (three dentists (MAG, DS, SD) and a Master student (LDB)). Descriptive and statistical analyses were performed with SPSS® (IBM SPSS Statistics Version 19). A χ^2 test was used to assess the associations between responses related to, on one hand, CRA, DSs, restorative threshold/strategies for approximal and occlusal lesions and deep carious lesion management and, on the other hand, gender and additional reading of scientific articles about MI in cariology. Univariate and multivariate logistic regressions (LRs) were performed; odd ratios (ORs) and their 95% confidence intervals (95% CIs) were calculated to correlate the use of CRA in everyday practice and the sociodemographic characteristics of the respondents. The level of significance was placed at 5% for all analyses. Only factors with univariate p value < 0.20 were included in the multivariate models.

The present paper only focuses on the results related to sections 1 and 2, namely CRA and preventive and therapeutic DSs. The following subgroups were used for statistical analysis:

Question on the importance of different factors in treatment planning for adult patients: “not or marginally

important” (grade 1) versus “moderately important” (grade 2) versus “very to extremely important” (grade 3); Question on the respondents’ opinions about general concerns related to preventive and therapeutic DSs: “disagreement (partial or total)” (grade 1) versus “neutral” (grade 2) versus “agreement (partial or total)” (grade 3).

Results

All of the 16 French dental schools participated to the survey. A total of 1158 fulfilled questionnaires were collected, leading to a response rate of 84.5% (from 32.9 to 100%). The respondent population was composed of 53.5% of women ($n=619$) and 46.5% of men ($n=539$). The average age of the participants, at the time of the study, was 24.5 (± 2.12) year-old (min. 21–max. 44). Approximately, one-third of the respondents (35%) had already read publications about MI in cariology. Men were more likely to read scientific articles than women ($p=0.032$).

CRA

Interestingly, 81.1% of respondents stated they use CRA in clinical practice, most of them without any specific form (73.5%). The reasons for not using CRA are listed in Table 1. Lack of time appears to be the most important

factor identified (67.7%) followed by lack of teaching during undergraduate education (30.9%) and insufficient knowledge on CRA (23.5%). Among those who answered they do not assess the caries risk of their patients, 73.6% would appreciate the delegation of this task to other dental personnel, i.e. dental hygienists (69.9%) or other GDPs (3.7%), when 12% would not delegate CRA (14.4% having no opinion). Men were more likely than women to denounce the problem of billing and reimbursement as barriers to the CRA use ($p=0.037$). Table 2 shows the results of the univariate and multivariate LRs investigating the correlation between the use of CRA and sociodemographic data. The LR shows that respondents who considered initial training on CRA as sufficient were more likely to perform CRA than the others (OR: 2.46; 95% CI: 1.79–3.37; p value < 0.001).

If 80.4% of the respondents would base their individual treatment plans on CRA, only 55.1% would regularly plan preventive regimens according to risk level. Respondents who are more likely to establish individual preventive strategies based on CRA are MI scientific article readers ($p=0.028$). Table 3 shows a summary of preventive treatments proposed by respondents: DSs (83.4%), fluoride (F) varnish application (69%) and F toothpaste > 1500 ppm prescription (41.6%) were the most cited options. FDSs who already read scientific publications about MI were more likely to indicate > 1500 ppm F toothpaste ($p=0.046$), CPP/ACP (for casein phosphopeptide—amorphous calcium

Table 1 Reasons cited by French fifth-year dental students for not using CRA ($n=217$)

Reasons for not using CRA	Citation frequency ^a (%)	Significantly related respondents’ characteristics
Lack of time	67.7	–
No teaching of CRA during undergraduate education	30.9	–
Insufficient knowledge on CRA	23.5	–
Problem of billing or reimbursement	19.4	Men ($p=0.037$)
Irrelevance of CRA	1.8	–

^aSome participants checked off more than one option

Table 2 Results of the logistic regressions related to the use of CRA in everyday practice according to sociodemographic characteristics of the respondents

	Respondent sociodemographic characteristics	OR	95% CI	p value
Univariate LR	Age (years) ($n=1101$)	1.02	0.95–1.10	0.5734
	Gender (women/men) ($n=1147$)	1.11	0.83–1.49	0.4925
	Reading articles about MI (yes/no) ($n=1140$)	1.15	0.84–1.57	0.3885
	Considering initial training on CRA as sufficient (yes/no) ($n=1143$)	2.46	1.79–3.37	$< 0.001^*$
Multivariate LR	Considering initial training on CRA as sufficient (yes/no) ($n=1143$)	2.46	1.79–3.37	$< 0.001^*$

Only factors with univariate p value < 0.20 were included in the multivariate models

LR logistic regression, OR odd ratio, 95% CI 95% confidence interval, MI minimal intervention, CRA caries risk assessment

*Statistically significant

Table 3 Overview of preventive treatments performed by French fifth-year dental students ($n = 1153$)

Preventive options	Citation frequency ^a (%)	Significantly related respondents' characteristics
Sealants	83.4	
In-office F varnish application	69	Women ($p = 0.001$)
Prescription of > 1500 ppm F toothpaste	41.6	Articles reading ($p = 0.046$)
Prescription of < 1500 ppm F toothpaste	25.2	
Prescription of F mouthwashes	23.7	
In-office F gel application	10.3	Articles reading ($p = 0.001$)
Prescription of CPP-ACP agents	5.4	Articles reading ($p < 0.001$)
Prescription of dental products with arginine	4.8	

Not all participants answered to the question

CPP-ACP casein phosphopeptide—amorphous calcium phosphate, F fluoride, ppm parts per million

^aSome participants checked off more than one option

phosphate) agents ($p < 0.001$) and F gel professional application ($p = 0.001$) than the others. Almost 80% ($n = 905$) of the respondents declared combining regularly from two to four preventive options.

Table 4 summarizes the hierarchy of factors being considered in a CRA in adult patients. The three most cited factors

considered as important were current oral hygiene (87.4%), patient's motivation (45%) and the presence of active carious lesion (37%). The three most cited factors considered as irrelevant were reimbursement (73.7%), dentist's subjective assessment (53.2%) and patient's age (31.6%). Table 5 indicates the results of the uni- and multi-variate LR performed

Table 4 Hierarchy of factors considered in a CRA for adults by French fifth-year dental students ($n = 1156$)

Factor	Factor of importance in CRA (%)	Less important factor in CRA (%)
Current oral hygiene	87.4	0.9
Patient's motivation	45	1.4
Presence of active carious lesion	37	2.1
Reimbursement	0.9	73.7
Dentist's subjective assessment	1.3	53.2
		Women ($p < 0.001$) ^a
Age	5.5	31.6
Current diet	36.3	9.2
	Women ($p = 0.044$) ^a	Men ($p = 0.048$) ^a
Presence of several large restorations	13.8	4.7
	Women ($p = 0.040$) ^a	
	No articles reading ($p = 0.003$) ^a	
Comprehension of the causes of caries	15	6.4
		No articles reading ($p = 0.029$) ^a
Regularity of patients visits	11	5.1
Decreased saliva function	10.6	5
	Articles reading ($p = 0.045$) ^a	
Current use of F toothpaste	10.4	11.4
Recent carious lesions	9.4	7
	Women ($p = 0.003$) ^a	
Socioeconomic status	8.6	24.8
Presence of dental appliances	1.8	20
Gingival recession or exposed roots	1	25.3

Not all participants answered to the question

Bold values indicate the three most cited factors

CRA caries risk assessment, F fluoride

^aSignificantly related respondents' characteristics (gender and additional reading of scientific articles about MI)

Table 5 Results of the uni- and multi-variate LRs performed to indicate the associations between the CRA use and factors considered as being important in a CRA in adults

Factors considered as being important	OR	95% CI	<i>p</i> value
Univariate LR (n = 1146)			
Age	0.75	0.41–1.36	0.3354
Current diet*	1.71	1.23–2.37	0.0015
Current oral hygiene	0.70	0.42–1.14	0.1526
Dentist's subjective assessment	0.63	0.20–2.01	0.4390
Gingival recession or exposed roots	0.69	0.19–2.58	0.5856
Socioeconomic status	0.66	0.41–1.07	0.0899
Decreased saliva function	0.87	0.54–1.39	0.5570
Presence of several large restorations	1.16	0.74–1.80	0.5169
Reimbursement*	0.23	0.07–0.80	0.0203
Presence of dental appliances	0.46	0.18–1.14	0.0945
Regularity of patients visits	0.80	0.51–1.25	0.3291
Patient's motivation	0.81	0.60–1.09	0.1556
Comprehension of the causes of caries	1.37	0.88–2.14	0.1651
Presence of active carious lesion	1.29	0.94–1.77	0.1083
Recent carious lesions	1.37	0.79–2.38	0.2624
Current use of fluoride toothpaste	0.76	0.48–1.20	0.2380
Multivariate LR (n = 1145)			
Current diet*	1.80	1.25–2.59	0.0014
Current oral hygiene	0.66	0.39–1.11	0.1172
Socioeconomic status	0.76	0.46–1.27	0.2957
Reimbursement*	0.26	0.07–0.94	0.0393
Presence of dental appliances	0.50	0.19–1.31	0.1597
Patient's motivation	0.95	0.68–1.33	0.7752
Comprehension of the causes of caries*	1.61	1.00–2.58	0.0497
Presence of active carious lesion	1.41	0.98–2.03	0.0619

Only factors with univariate *p* value < 0.20 were included in the multivariate models

LR logistic regression, OR odd ratio, 95% CI 95% confidence interval

*Statistically significant difference

to investigate the associations between the use of CRA in adults and factors considered as being important. In multivariate analysis, current diet was, by far, the factor with the strongest statistical association with CRA use (OR: 1.80; 95% CI: 1.25–2.59; *p* value: 0.0014). Considering reimbursement and patient's comprehension of the causes were other significantly related factors (*p* = 0.0393 and *p* = 0.0497, respectively).

Table 6 shows the factors that are considered by FDSs to be important for the treatment plan in adults. The three most cited factors were as follows: current oral hygiene (95.7%), patient motivation (91.9%) and the regularity of patient visits (75.6%). The respondent sociodemographic characteristics appeared to influence their answers. For example, women are more likely to designate the presence of several large restorations, the presence of dental appliances, the patient comprehension of the causes of caries and the regularity of patient

visits as important factors (*p* = 0.045; *p* = 0.005; *p* < 0.001 and *p* = 0.007, respectively). FDSs who read articles on MI also mentioned the presence of active carious lesion (*p* = 0.041), the current use of F toothpaste (*p* = 0.001) and the current diet (*p* < 0.001) as main factors in a treatment plan for adults more likely than the others.

Understanding/perception of the term "MI" in cariology

Table 7 provides an overview of the understanding/perception of the term "MI" in cariology. A large majority of respondents (87.8%) linked MI with minimally invasive dentistry while 77.4% considered it as a concept based on prevention. Women were more likely to answer that MI is based on prevention (*p* = 0.013) and that MI could be implemented into private practice (*p* < 0.001). Moreover, 6.4% reported that they did not exactly know what MI in cariology means.

Preventive and therapeutic DSs

While 96.6% of the respondents declared they perform preventive DSs (PDSs), only 44.3% considered therapeutic DSs (TDSs) as a routine treatment. FDSs who read articles on MI were more likely to perform TDSs (*p* < 0.001) than the others. The lack of formation, the risk of progression of pre-existing carious lesion and the lack of recommendations appeared to be the main reasons for not considering TDSs in their panel of caries management strategies (Fig. 1). Table 8 summarizes the respondents' degree of agreement regarding six statements about DSs: 76.4% considered there are strong evidence on the effectiveness of DSs to prevent dental caries and 92.4% were aware that DSs placement implies a follow-up.

Table 9 shows the preferences of the respondents for PDSs and TDSs in terms of patient profile (age and caries risk level) and the choice of material. Composite resin is the preferred material (PDSs: 60.6%; TDSs: 37%), especially for respondents who read articles on MI (*p* < 0.001). Almost 85% (especially women (*p* = 0.042) and respondents who read articles on MI (*p* = 0.018)) combined PDSs with other preventive measures—based on the age of patient (Table 10).

DSs and task delegation

Almost half of the respondents (48.8%) would appreciate the possibility of task delegation to other dental personnel. Respondents who read articles on MI were more likely to refuse task delegation (*p* = 0.043).

National recommendations and need for further education toward CRA and DSs

Only 26.1% of the respondents seemed to be familiar with the French national recommendations of the French High

Table 6 Importance of different factors to be considered for the development of a treatment plan in adults

	Not or only marginally important (grade 1) (%)	Moderately important (grade 2) (%)	Very to extremely important (grade 3) (%)	Significantly related respondents' characteristics
Age (<i>n</i> = 1149)	15.8	34.9	49.3	–
Socioeconomic status (<i>n</i> = 1144)	17.9	37.3	44.8	Men: grade 3 (<i>p</i> = 0.015)
Current oral hygiene (<i>n</i> = 1147)	0.8	3.5	95.7	–
Presence of active carious lesion (<i>n</i> = 1138)	5.3	19.8	74.9	Articles reading: grade 3 (<i>p</i> = 0.041)
Recent carious lesions (<i>n</i> = 1144)	13.9	36.4	49.7	–
Presence of several large restorations (<i>n</i> = 1145)	6.6	26.7	66.7	Women: grade 3 (<i>p</i> = 0.045)
Presence of dental appliances (<i>n</i> = 1146)	13.6	36.1	50.3	Women: grade 3 (<i>p</i> = 0.005)
Gingival recession or exposed roots (<i>n</i> = 1151)	16.7	39.3	44	Men: grade 1 Women: grade 3 (<i>p</i> = 0.003)
Current use of F toothpaste (<i>n</i> = 1150)	28.2	34.5	37.3	Articles reading: grades 2 and 3 (<i>p</i> = 0.001)
Current diet (<i>n</i> = 1149)	21.9	27.9	50.2	Articles reading: grades 2 and 3 (<i>p</i> < 0.001)
Dentist's subjective assessment (<i>n</i> = 1145)	33.5	39.9	26.6	Men: grade 3 (<i>p</i> = 0.009)
Decreased salivary function (<i>n</i> = 1152)	12.2	24.1	63.7	–
Patient comprehension of the causes of caries (<i>n</i> = 1150)	7.9	18.9	73.2	Men: grades 1 and 2 Women: grade 3 (<i>p</i> < 0.001)
Regularity of patient visits (<i>n</i> = 1147)	4.7	19.7	75.6	Men: grade 2 Women: grade 3 (<i>p</i> = 0.007)
Patient motivation (<i>n</i> = 1147)	1.4	6.7	91.9	–
Reimbursement (<i>n</i> = 1151)	38.6	39.5	21.9	–

F fluoride

Table 7 What do French fifth-year dental students understand by the term “MI in cariology”? (*n* = 1157)

What is MI?	Citation frequency ^a
A treatment concept based on minimally invasive dentistry	87.8% Articles reading (<i>p</i> = 0.002) ^b
A treatment concept based on prevention	77.4% Women (<i>p</i> = 0.013)
A treatment concept that can be implemented into private practice	61.5% Articles reading (<i>p</i> = 0.002); Women (<i>p</i> < 0.001) ^b
A treatment concept based on the understanding of the risk factors	57.7% Articles reading (<i>p</i> = 0.002) ^b
A treatment concept based on the use of magnification	34.7% Articles reading (<i>p</i> < 0.001) ^b
I do not know exactly what is MI in cariology	6.4% No articles reading (<i>p</i> < 0.001) ^b
A treatment concept that is part of the public health domain	1.6%
A treatment concept restricted for use in paediatric dentistry	1.4%

Not all participants answered to the question

^aSome participants checked off more than one option

^bSignificantly related respondents' characteristics (gender and additional reading of scientific articles about MI)

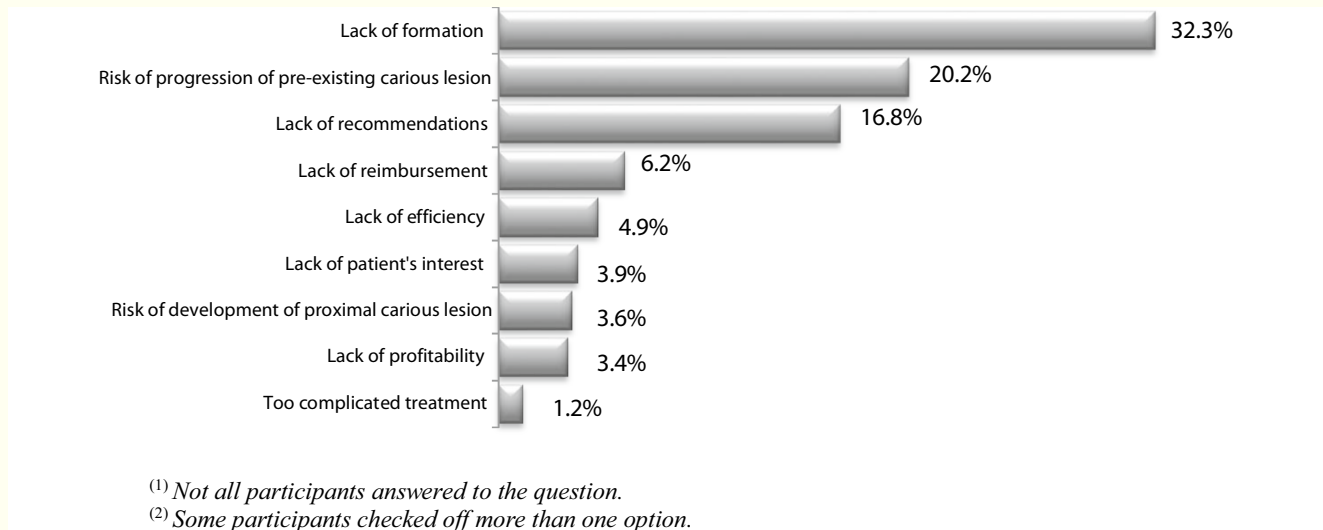


Fig. 1 Reasons cited by dental students for not performing therapeutic sealants ($n = 1154$). Not all participants answered to the question. Some participants checked off more than one option

Table 8 Respondents' knowledge about preventive and therapeutic sealants*

	Disagreement (Grade 1) (%)	Neutral (Grade 2) (%)	Agreement (Grade 3) (%)
There is strong scientific evidence on the effectiveness of sealants to prevent dental caries ($n = 1144$)	3.2	20.4	76.4
There is strong scientific evidence on the effectiveness of sealing non-cavitated carious lesions ($n = 1140$)	5.7	35.3	59
Follow-up visits are needed when sealants are placed ($n = 1133$)	1.7	5.9	92.4
The loss of sealants is usually related to technical problems during the procedure ($n = 1139$)	17.1	23.7	59.2
Resin composites are more efficient than GICs for sealants ($n = 1143$)	26.1	35.7	38.2
As long as sealants are present, the sealed surface will not develop dental caries ($n = 1141$)	74.5	13.1	12.4

GIC glass ionomer cements

*Not all participants answered to the question

Authority for Health (HAS). While 75.1% stated they had sufficient education towards CRA, 55.9% reported the need for further education on PDSs and TDSs.

Discussion

The purpose of this study, the first of its kind in France and in the world, was to provide an overview of the knowledge and opinions of French fifth-year dental students related to CRA and DSs. Studies were previously carried out to assess the teaching of cariology in Europe [18] and in Oceania [19], but, to our knowledge, no publications were interested in what FDSs, following courses on MI, learn and remember. The logistical part of this study (questionnaire printing and mailing) was supported by Colgate®, but the results were independently analysed by the authors. As the questionnaire

only concerned the learning outcomes, no approval of ethical committees was required according to the French regulation. The 16 French dental schools, all supported by the French State (there are no private dental schools in France), took part in the survey and it can be hypothesized that, as the response rate is about 85%, the results are highly representative of the knowledge and opinions of all French fifth-year dental students at the time of the study. Disparities in response rates between schools could be denounced as a potential bias in the interpretation of the results. Those disparities are related to the fact that, in some schools, the presence of students at the questionnaire administration session was not compulsory. Thus, the non-responses were not linked to the content of the questionnaire and the lack of interest toward MI but only to the irregular school attendance of a fraction of the student population, varying from school to school. In that context, it can be hypothesized that

Table 9 Preferences of the respondents for preventive and therapeutic sealants in terms of patient profile and the material choice

	Preventive sealants	Therapeutic sealants	
Patient profile	Age (<i>n</i> = 1113)	Children only: 58.5% Adults only: 0.7% Children and adults: 40.8%	Children only: 37.9% Adults only: 6.2% Children and adults: 55.9% Articles reading (<i>p</i> < 0.001) ^b
	Caries risk level (<i>n</i> = 1111)	Low risk: 4.4% Men (<i>p</i> < 0.001) ^b High risk: 62.2% Articles reading (<i>p</i> = 0.045) ^b Regardless of risk level: 33.4% Women (<i>p</i> < 0.001) ^b	Low risk: 24.6% Articles reading (<i>p</i> < 0.001) ^b High risk: 38.2% Articles reading (<i>p</i> < 0.001) ^b Regardless of risk level: 37.3%
Choice of material^a	GIC: 45.7% (<i>n</i> = 529) Composite resin: 60.6% (<i>n</i> = 701) Articles reading (<i>p</i> < 0.001) ^b RM-GIC: 22.1% (<i>n</i> = 256) Arti- cles reading (<i>p</i> = 0.029) ^b	GIC: 26.4% (<i>n</i> = 305) Articles reading (<i>p</i> = 0.001) ^b Composite resin: 37% (<i>n</i> = 427) Articles reading (<i>p</i> < 0.001) ^b RM-GIC: 19.2% (<i>n</i> = 221) Articles reading (<i>p</i> < 0.001) ^b	

Not all participants answered to the question

GIC glass ionomer cements, RM-GIC resin-modified GIC

^bSome participants checked off more than one option

^cSignificantly related respondents' characteristics (gender and additional reading of scientific articles about MI)

Table 10 Preventive measures recommended in addition to preventive sealants

	Never (%)	Only in chil- dren (%)	Only in adults Only (%)	In both chil- dren and adults (%)
Toothbrushing and dental floss or interdental brushes (<i>n</i> = 1014)	1.4	5	13.4	80.2
< 1500 ppm F toothpaste (<i>n</i> = 910)	30.7	40.3	4.8	24.2
> 1500 ppm F toothpaste (<i>n</i> = 942)	28.6	8	40.4	23
F mouthwashes (<i>n</i> = 910)	52.5	3.3	26.6	17.6
Products containing CPP-ACP (<i>n</i> = 887)	79.7	6.7	5.5	8.1
Products containing arginine (<i>n</i> = 880)	82.7	1.5	8.8	7
In-office F varnish application (<i>n</i> = 960)	12.9	31.5	4.8	50.8
In-office F gel application (<i>n</i> = 886)	63.9	8.9	5	22.2

Not all participants answered to the question

CPP-ACP casein phosphopeptide—amorphous calcium phosphate, F fluoride, ppmF parts per million fluoride

the non-responses do not induce any bias in the interpretation of the results and that the present results are highly representative of the knowledge and practices of FDSs. A comparison between schools was not expected, as the aim of the study was to collectively analyse the knowledge of all future dental French practitioners and not to establish a ranking of schools. Nevertheless, this study does present some limitations. The dental course in France lasts 6 years and it could have been more pertinent to administrate the questionnaire to final year FDSs as MI in cariology is taught all along the course. Nevertheless, it would have been impossible to simultaneously organise sessions for the questionnaire administration (or within a reasonable period of time to avoid questionnaire diffusion and potential discussions/

responses through social networks) to final year FDSs in all schools. Indeed, the presence of the FDSs on site may vary dramatically from one school to another due to an internship (similar to vocational training) in private practice that takes place during this final year. Some authors denounced that there is little correlation between respondents' stated intervention strategies as reported in questionnaire surveys and their therapy decisions in clinical practice [20–22]. Nevertheless, others argued that if questionnaire surveys are not able to measure the respondents' clinical decisions, they give a good idea of their treatment philosophies [23, 24]. The present results thus help to understand FDSs knowledge toward CRA and dental sealants to modify teaching content and approaches accordingly.

The questionnaire used in the present survey consisted of a compilation of questionnaires that had been previously used for surveys among FGDPs and French university teachers [9–13, 17]. Validation of the questionnaires was not undertaken since their objective was to describe the knowledge, opinions and practices of dental professionals concerning various MI domains. This differs from questionnaires where the aim is to diagnose a disease, to screen patients according to a specific medical condition or to assess quality of life where validation is necessary. Construct validity of each original questionnaire was, however, evaluated to some extent by pilot-testing the questionnaires like stipulated in the princeps articles [9–13, 17]. Minor problems in the understanding and interpretation of some questions were discussed amongst the investigators and slight modifications to the questionnaire were made. Validation in terms of test–retest reliability of the questionnaire was not evaluated since it was considered that once the questionnaire has been administered, respondents might seek further information about some topics covered in the questionnaire, which, in turn, might subsequently change their opinions and practices. Linguistic validity was not required since the questionnaires were developed in French.

It is comforting to notice that a large majority of FDSs (81.1%) stated they regularly conduct CRA, which is recognized to be the cornerstone of MI treatment planning [25, 26]. However, similarly to FGDPs, very few FDSs based their CRA on the use of a specific form [12, 27–29]. Despite the criticism about the lack of clear-cut validation of the proposed protocols/models, CRA forms are intended to help practitioners in managing a treatment plan strategy suitable for each patient [25, 30]. CRA forms also allow a more objective and standardized collection of information, which could help gathering lots of epidemiological data in French hospital dental services, as it has been done at UCSF dental school for more than a decade [31, 32]. Moreover, like FGDPs [12], FDSs consider current oral hygiene (87.4%) and patient's motivation (45%) as critical factors in a CRA for adult patients. Similar findings were reported in questionnaire studies among US and Japanese dentists [29, 33].

Like FGDPs, lack of time appears to be the most important factor identified among FDSs for not using CRA (FGPs: 67.2%; FDSs: 67.7%) [12]. However, it is surprising to note that 54.4% also mentioned the lack of teaching and insufficient knowledge on CRA as reasons for not using CRA in everyday practice, knowing that CRA should be properly implemented in dental curriculum like suggested in the latest (at the time of the study) European curriculum recommendations in cariology [34, 35]. Most of respondents would appreciate a task delegation to other dental personnel like dental hygienists but unfortunately the profession of dental hygienists is still not recognised in France. Like FGDPs, some FDSs also denounce the problem of reimbursement

(19.4%) as barriers to the use of CRA at a regular basis [11, 12]. Indeed, the Common Classification of Medical Acts (Classification Commune des Actes Médicaux or CCAM), which defines codification and billing of fees for procedures performed in dental practices in France, does not include a code for CRA, while the national recommendations (HAS) encourage CRA in daily routine [36]. Regrettably, while the periodontal assessment has a classification code, the absence of CRA in the CCAM illustrates the lack of consideration of this critical step in the caries prevention, which should be a major public health concern.

DSs are part of the panel of primary and secondary prevention [37, 38]; PDSs and TDSs are respectively indicated for caries initiation prevention in sound surfaces (ICDAS 0) in deep pits and fissures or for non-invasive management of non-cavitated carious lesions (ICDAS 1–3 and even ICDAS 1–4 for some authors). The state of evidences behind DSs is robust [39–44]. The present results show that almost all FDSs (96.6%) declared placing PDSs at a regular preventive option. Nevertheless, only less than half of FDSs (44.3%) considered TDSs placement. Similar findings were previously reported for GDPs practicing in France [11]. Indeed, while 90% of FGDPs regularly perform PDSs, only 42% of them think about TDSs as preventive options. Lack of knowledge and risk of further lesion progression appear to be the most cited reasons (respectively, 32.3% and 20.2%) that explain the non-use of TDSs by the future practitioners studying in France. In contrast to the USA, where TDSs are part of the best practice recommendations, the HAS has not ruled on TDSs yet although it supports non-invasive strategies for non-cavitated carious lesions [37, 38]. Unlike PDSs, there is no classification code in the CCAM for TDSs, which does not encourage GDPs to integrate these treatment options in their clinical practice. Instead, the lack of a classification code promotes the use of more invasive restorations for non-cavitated carious lesions, which are reimbursed by the French social security system and complementary health insurances.

Although three quarters of respondents stated that the undergraduate education related to CRA is sufficient, more than half of them reported some lacks towards both PDSs and TDSs. Worryingly, only 26.1% declared being familiar with the current national recommendations. In other countries, similar surveys administered to dental students and practitioners showed that respondents had a suitable theoretical knowledge about pit and fissure sealants; however, these studies also showed that there is a gap between their knowledge and the implementation of these preventive options in their clinical practices [45, 46].

These results highlight several problems regarding particularly the undergraduate education stream of cariology, which appears to require further improvements. Similarly, continuing education, which has been introduced for several

years in France, is mandatory for health professionals. As the subjects of training are not imposed and are selected by GDPs themselves depending on their preference, it is alarming to note that only 37% of them were interested in MI in 2015 [12]. Many reasons can explain this situation in Europe and especially in France. Changes in practitioners' attitudes about MI will only be achieved if clear information about the scientific rationale of CRA, the availability of easy-to-use CRA tools and evidence-based recommendations emerge [47]. Indeed, giving specific and simple guidelines to students and faculty members to accurately assign the caries risk levels for their patients could help them to improve CRA [48]. Admittedly, our study is a French example but there is little doubt that the same conclusions may be drawn in most of European countries; similar studies are thus needed to compare dental students' knowledge and practices within countries and confirm this hypothesis.

Changing traditional practices into new concepts must involve common actions [15, 49]. First of all, disparities concerning the teaching and practice of cariology that exist between French dental schools may lead to variations in FDS knowledge and treatment modalities. To address this problem, the college of teachers in conservative dentistry (CNEOC) could suggest concrete measures, for example writing a teachers' guide for dental curriculum, to standardize the education of MI in cariology in all French dental schools, according to the proposals of the European Core Curriculum for Cariology [18, 34, 35, 50]. Moreover, the objectives of the French (HAS) and European recommendations could also be redefined in order to favour evolutions of the health care system and reimbursement modalities (CCAM) towards an objective of caries prevention and to reconsider MI strategies as major public health concerns.

Acknowledgements The authors thank Colgate® France for administrative support (printing and postal fees were sponsored by Colgate® France) and Laura Dupont-Butez for her help in data entry.

Author contributions Conceptualization: SD and DS; methodology: SD and DS; data collection: JLC, MAG, LL, MB, RAC, FC, VC, PC, FF, AG, OK, DM, CM, CÖ, BP, FP, ET, YLT, RA, DS, SD; data entry: SD, DS and MAG; formal analysis: SD, DS and LL; writing—original draft preparation: JLC; writing—review and editing: SD, DS, LL, MAG, LL, MB, RAC, FC, VC, PC, FF, AG, OK, DM, CM, CÖ, BP, FP, ET, YLT, RAC; supervision: SD and DS. All authors read and approved the final manuscript.

Funding Printing and postal fees were sponsored by Colgate® France.

Compliance with ethical standards

Conflict of interest The authors declare that they have no conflict of interest.

Ethical approval All procedures fulfil French regulations related to questionnaire surveys in an educational environment.


References

1. Dawson AS, Makinson OF. Dental treatment and dental health. Part 1. A review of studies in support of a philosophy of Minimum Intervention Dentistry. *Aust Dent J.* 1992;37:126–32.
2. Dawson AS, Makinson OF. Dental treatment and dental health. Part 2. An alternative philosophy and some new treatment modalities in operative dentistry. *Aust Dent J.* 1992;37:205–10.
3. Mount GJ, Hume WR. A new cavity classification. *Aust Dent J.* 1998;43:153–9.
4. Mount GJ. A new paradigm for operative dentistry. *Aust Dent J.* 2007;52:264–70.
5. Mount GJ, Ngo H. Minimal intervention: advanced lesions. *Quintessence Int.* 2000;31:621–9.
6. Mount GJ, Ngo H. Minimal intervention: early lesions. *Quintessence Int.* 2000;31:535–46.
7. Pitts N, Ismail AI, Martignon S, Ekstrand K, Douglas GV, Longbottom C (2004) ICCMS guide for practitioners and educators. <https://www.iccms-web.com/uploads/asset/59284654c0a6f822230100.pdf>. Accessed 9 Apr 2020
8. Martignon S, Pitts NB, Goffin G, Mazevet M, Douglas GVA, et al. CariesCare practice guide: consensus on evidence into practice. *Br Dent J.* 2019;227:353–62.
9. Doméjean-Orliaguet S, Tubert-Jeannin S, Riordan PJ, Espelid I, Tveit AB. French dentists' restorative treatment decisions. *Oral Health Prev Dent.* 2004;2:125–31.
10. Doméjean S, Maltrait M, Espelid I, Tveit A, Tubert-Jeannin S. Changes in occlusal caries lesion management in France from 2002 to 2012—a persistent gap between evidence and clinical practice. *Caries Res.* 2015;49:408–16.
11. Hélie B, Holmgren C, Gaillot L, Doméjean S. Scellements préventifs et thérapeutiques—Connaissances et pratiques des omnipraticiens français. *Inf Dent.* 2016;37:20–8.
12. Doméjean S, Léger S, Simon A, Boucharel N, Holmgren C. Knowledge, opinions and practices of French general practitioners in the assessment of caries risk: results of a national survey. *Clin Oral Investig.* 2017;21:653–63.
13. Schwendicke F, Stangvaltaite L, Holmgren C, Maltz M, Finet M, et al. Dentists' attitudes and behaviour regarding deep carious lesion management: a multi-national survey. *Clin Oral Investig.* 2017;21:191–8.
14. Haugejorden O. Adoption of fluoride-based caries preventive innovations in a public dental service. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1988;16:5–10.
15. Watt R, McGlone P, Evans D, Boulton S, Jacobs J, et al. The facilitating factors and barriers influencing change in dental practice in a sample of English general dental practitioners. *Br Dent J.* 2004;197:485–9.
16. Schwendicke F, Doméjean S, Ricketts D, Peters M. Managing caries: the need to close the gap between the evidence base and current practice. *Br Dent J.* 2015;219:433–8.
17. Tubert-Jeannin S, Doméjean-Orliaguet S, Riordan PJ, Espelid I, Tveit AB. Restorative treatment strategies reported by French university teachers. *J Dent Educ.* 2004;68:1096–103.
18. Schulte AG, Pitts NB, Huysmans MC, Splieth C, Buchalla W. European core curriculum in cariology for undergraduate dental students. *Eur J Dent Educ.* 2011;15(Suppl 1):9–17.
19. Loch C, Liaw Y, Metussin AP, Lynch CD, Wilson N, et al. The teaching of posterior composites: a survey of dental schools in Oceania. *J Dent.* 2019;84:36–433.
20. Kay EJ, Nuttall NM, Knill-Jones R. Restorative treatment thresholds and agreement in treatment decision-making. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1992;20:265–8.
21. Kay EJ, Nuttall NM. Relationship between dentists' treatment attitudes and restorative decisions made on the basis of

- simulated bitewing radiographs. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1994;22:71–4.
22. Mileman PA, Mulder E, van der Weele L. Factors influencing the likelihood of successful decisions to treat dentin caries from bitewing radiographs. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1992;20:175–80.
 23. Mejare I, Sundberg H, Espelid I, Tveit B. Caries assessment and restorative treatment thresholds reported by Swedish dentists. *Acta Odontol Scand.* 1999;57:149–54.
 24. Tveit AB, Espelid I, Skodje F. Restorative treatment decisions on approximal caries in Norway. *Int Dent J.* 1999;49:165–72.
 25. Doméjean S, Banerjee A, Featherstone JDB. Caries risk/susceptibility assessment: its value in minimum intervention oral health-care. *Br Dent J.* 2017;223:191–7.
 26. Fontana M, Gonzalez-Cabezas C. Evidence-based dentistry caries risk assessment and disease management. *Dent Clin North Am.* 2019;63:119–28.
 27. Riley JL 3rd, Qvist V, Fellows JL, Rindal DB, Richman JS, et al. Dentists' use of caries risk assessment in children: findings from the Dental Practice-Based Research Network. *Gen Dent.* 2010;58:230–4.
 28. Riley JL 3rd, Gordan VV, Ajmo CT, Bockman H, Jackson MB, et al. Dentists' use of caries risk assessment and individualized caries prevention for their adult patients: findings from The Dental Practice-Based Research Network. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2011;39:564–73.
 29. Riley JL 3rd, Gordan VV, Ajmo CT, Bockman H, Jackson MB, et al. Dentists' use of caries risk assessment and individualized caries prevention for their adult patients: findings from The Dental Practice-Based Research Network. *Tex Dent J.* 2015;132:18–29.
 30. Featherstone JD. The caries balance: contributing factors and early detection. *J Calif Dent Assoc.* 2003;31:129–33.
 31. Doméjean S, Featherstone JDB, White JM. Validation of the CDA CAMBRA caries risk assessment—a six-year retrospective study. *J Calif Dent Assoc.* 2011;39:709–15.
 32. Chaffee BW, Featherstone JD. Long-term adoption of caries management by risk assessment among dental students in a university clinic. *J Dent Educ.* 2015;79:539–47.
 33. Kakudate N, Sumida F, Matsumoto Y, Yokoyama Y, Riley JL 3rd, et al. Dentists' decisions to conduct caries risk assessment in a Dental Practice-Based Research Network. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2015;43:128–34.
 34. Bottenberg P, Ricketts DN, Van Loveren C, Rahiotis C, Schulte AG. Decision-making and preventive non-surgical therapy in the context of a European Core Curriculum in Cariology. *Eur J Dent Educ.* 2011;15(Suppl 1):32–9.
 35. Buchalla W, Wiegand A, Hall A. Decision-making and treatment with respect to surgical intervention in the context of a European Core Curriculum in Cariology. *Eur J Dent Educ.* 2011;15(Suppl 1):40–4.
 36. HAS (2005) *Appréciation du risque carieux et indications du scellement prophylactique des sillons des premières et deuxième molaires permanentes chez les sujets de moins de 18 ans.* https://www.has-sante.fr/jcms/c_240379/fr/appreciation-du-risque-carieux-et-indications-du-scellement-prophylactique-des-sillons-des-premieres-et-deuxiemes-molaires-permanentes-chez-les-sujets-de-moins-de-18-ans. Accessed 9 Apr 2020
 37. Beauchamp J, Caufield PW, Crall JJ, Donly KJ, Feigal R, et al. Evidence-based clinical recommendations for the use of pit-and-fissure sealants: a report of the American Dental Association Council on Scientific Affairs. *Dent Clin North Am.* 2009;53:131–47.
 38. Beauchamp J, Caufield PW, Crall JJ, Donly K, Feigal R, et al. Evidence-based clinical recommendations for the use of pit-and-fissure sealants: a report of the American Dental Association Council on Scientific Affairs. *J Am Dent Assoc.* 2008;139:257–68.
 39. Borges BC, de Souza BJ, Braz R, Montes MA, de Assuncao Pinheiro IV. Arrest of non-cavitated dentinal occlusal caries by sealing pits and fissures: a 36-month, randomised controlled clinical trial. *Int Dent J.* 2012;62:251–5.
 40. Wright JT, Tampi MP, Graham L, Estrich C, Crall JJ, et al. Sealants for preventing and arresting pit-and-fissure occlusal caries in primary and permanent molars: a systematic review of randomized controlled trials—a report of the American Dental Association and the American Academy of Pediatric Dentistry. *J Am Dent Assoc.* 2016;147(631–645):e618.
 41. Ahovuo-Saloranta A, Forss H, Walsh T, Nordblad A, Makela M, et al. Pit and fissure sealants for preventing dental decay in permanent teeth. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;7:CD001830.
 42. Frencken J. Is preventing micro-cavities in dentine from progressing with a sealant successful? *Br Dent J.* 2019;226:590–4.
 43. Hong M, Vuong C, Herzog K, Ng MW, Sulyanto R. Sealed primary molars are less likely to develop caries. *J Am Dent Assoc.* 2019;150:641–8.
 44. Munoz-Sandoval C, Gambetta-Tessini K, Giacaman RA. Micro-cavitated (ICDAS 3) carious lesion arrest with resin or glass ionomer sealants in first permanent molars: a randomized controlled trial. *J Dent.* 2019;88:103163.
 45. Ealla KKR, Kumar AN, Turagam N, Sooraparaju SG, Yerrapothu RMR, et al. Knowledge analysis of pit and fissure sealants among the dental students of South India. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2018;8:508–12.
 46. Al-Maweri SA, Al-Jamaei AA, Halboub ES, Al-Soneidar WA, Tarakji B, et al. Fissure sealants: knowledge and practice of Yemeni dental practitioners. *Eur J Dent.* 2016;10:234–8.
 47. Innes NP, Frencken JE, Schwendicke F. Don't know, can't do, won't change: barriers to moving knowledge to action in managing the carious lesion. *J Dent Res.* 2016;95:485–6.
 48. Young DA, Alvear Fa B, Rogers N, Rechmann P. The effect of calibration on caries risk assessment performance by students and clinical faculty. *J Dent Educ.* 2017;81:667–74.
 49. McGlone P, Watt R, Sheiham A. Evidence-based dentistry: an overview of the challenges in changing professional practice. *Br Dent J.* 2001;190:636–9.
 50. Meyer-Lueckel H, Opdam NJM, Breschi L, Buchalla W, Ceballos L, et al. EFCD Curriculum for undergraduate students in Integrated Conservative Oral Healthcare (ConsCare). *Clin Oral Investig.* 2019;23:3661–700.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Affiliations

Justine Le Clerc¹ · Marie-Agnès Gasqui² · Laurent Lafortest³ · Maxime Beaurain⁴ · Romain Ceinos^{5,6,7} · Florence Chemla^{8,9} · Valérie Chevalier^{10,11,12} · Pierre Colon^{13,14} · Florence Fioretti¹⁵ · Alexis Gevrey¹⁶ · Olivia Kérourédan^{17,18,19} · Delphine Maret²⁰ · Caroline Mocquot^{13,14} · Canan Özcan²¹ · Bruno Pelissier²² · Fabienne Pérez²³ · Elodie Terrer²⁴ · Yann-Loïg Turpin²⁵ · Reza Arbab-Chirani^{10,11,26} · Dominique Seux² · Sophie Doméjean^{27,28} 

¹ Univ Rennes, CHU Rennes (pôle Odontologie), CNRS, ISCR (Institut des Sciences Chimiques de Rennes), UMR 6226, Rennes, France

² UFR d'Odontologie, Laboratoire des Multimatériaux et Interfaces, UMR CNRS 5615, Université Lyon 1, Lyon, France

³ UFR d'Odontologie, Université Lyon 1, Lyon, France

⁴ UFR d'Odontologie, Lille, France

⁵ Université Côte d'Azur, UFR d'Odontologie, Nice, France

⁶ Hôpital St Roch, Pôle Odontologie, CHU, Nice, France

⁷ UMR 7268, Anthropologie bio-culturelle, Droit Éthique et Santé (ADES), Aix-Marseille Université, Marseille, France

⁸ Faculté de Chirurgie Dentaire - Université Paris Descartes, Paris, France

⁹ Service de médecine Buccodentaire de l'hôpital Charles Foix, APHP, Paris, France

¹⁰ UFR d'Odontologie, UBO, Brest, France

¹¹ CHRU de Brest, Brest, France

¹² Institut de Recherche Dupuy de Lome, UMR CNRS 6027, Brest, France

¹³ Université de Paris, Faculté Dentaire, Hôpital Rothschild, AP-HP, Paris, France

¹⁴ Univ Lyon, Claude Bernard Lyon 1, UMR CNRS 5615, Laboratoire des Multimatériaux et Interfaces, Villeurbanne, France

¹⁵ Faculté de Chirurgie Dentaire, Université de Strasbourg, Pôle de Médecine et Chirurgie Bucco-Dentaires des Hôpitaux Universitaires, UMR INSERM 1260, Strasbourg, France

¹⁶ UFR d'Odontologie, Nancy, France

¹⁷ Université de Bordeaux, UFR des Sciences Odontologiques, Bordeaux, France

¹⁸ Service de Médecine Bucco-dentaire, CHU de Bordeaux, Bordeaux, France

¹⁹ INSERM, Bioingénierie Tissulaire, U1026, Bordeaux, France

²⁰ UFR d'Odontologie, CHU, Laboratoire AMIS, UMR 5288 CNRS, Toulouse, France

²¹ UFR d'Odontologie, Université de Reims Champagne-Ardenne, Reims, France

²² UFR d'Odontologie, Montpellier, France

²³ UFR d'Odontologie, CHU, Univ Nantes, PHU 4 OTONN, Nantes, France

²⁴ UFR d'Odontologie, Aix-Marseille Univ., IRD, MEPHI, IHU Méditerranée Infection, Marseille, France

²⁵ Univ Rennes, CHU Rennes (pôle Odontologie), Paris, France

²⁶ LaTIM UMR 1101 INSREM, Brest, France

²⁷ UFR d'Odontologie, Centre de Recherche en Odontologie Clinique EA 4847, Univ Clermont Auvergne, Clermont-Ferrand, France

²⁸ Service d'Odontologie, CHU Estaing, Clermont-Ferrand, France

Knowledge and Opinions of French Dental Students Toward Occlusal and Proximal Restorative Thresholds

Marie-Agnès Gasqui^a / Laurent Laforest^b / Justine Le Clerc^c / Romain Ceinos^d / Florence Chemla^e / Valérie Chevalier^f / Pierre Colon^g / Florence Fioretti^h / Alexis Gevreyⁱ / Olivia Kérourédan^j / Delphine Maret^k / Caroline Mocquot^l / Canan Özcan^m / Bruno Pelissierⁿ / Fabienne Perez^o / Elodie Terror^p / Yann-Loïg Turpin^q / Reza Arbab-Chirani^r / Sophie Doméjean^s / Dominique Seux^t

Purpose: To investigate the practices, knowledge and opinions of French dental students (FDSs) in various domains of minimal intervention (MI) in cariology.

Materials and Methods: A cross-sectional, questionnaire-based study was conducted in spring 2018 among all fifth-year French dental students (FDSs) from the 16 French dental schools. The present article focuses on restorative management. Statistical analyses (descriptive, chi-squared) were performed.

Results: The response rate was 84.5%. Overall, 74.7% to 97.4% and 83% of respondents would have operatively intervened for proximal and occlusal carious lesions, respectively, while non-or micro-invasive intervention would have been possible. Interestingly, 15% would completely open the occlusal fissures. For both occlusal and proximal lesions requiring a restoration, composite resin was indicated by over 95% of the respondents. In a clinical case, 51.6% of FDSs who rightly diagnosed an enamel carious lesion would operatively intervene. When FDSs could not diagnose the type of carious lesions, a high proportion of invasive actions were also reported (40%). FDSs who read scientific articles were more likely to consider the high importance of not filling sound teeth unnecessarily ($p = 0.033$).

Conclusion: FDSs do not have sufficient awareness of MI guidelines regarding occlusal and proximal restorative thresholds. Efforts are required in dental schools to teach FDSs to postpone invasive/restorative strategies to later stages of carious progression. There is a need to strengthen prevention techniques and non-invasive options in the teaching of MI in cariology.

Key words: carious lesions, dental education, dental students, minimal intervention, restorative threshold

Oral Health Prev Dent 20##; ##: 1-7.
doi: ##.####/j.ohpd.a#####

Submitted for publication: 26.10.20; accepted for publication: 14.04.21

^a Lecturer, Multimaterials and Interfaces Laboratory, Faculty of Dentistry, University of Lyon 1, Lyon, France; xxAUTHOR, TRANSLATE Hospices Civils de Lyon, Département d'Odontologie Conservatrice, Lyon, France.

^b Lecturer, Faculty of Dentistry, University of Lyon 1, Lyon, France.

^c Lecturer, Multimaterials and Interfaces Laboratory, Faculty of Dentistry, University of Rennes, Rennes, France.

^d Lecturer, Faculty of Dentistry, Côte d'Azur University, Nice, France; Hospital St Roch, Odontology Center, Nice, France; Bio-cultural Anthropology, Ethics and Health Law, Aix-Marseille University, France.

^e Professor, Faculty of Dentistry, University Paris Descartes; Department of Dentistry, Charles Foix Hospital, APHP Paris, France.

^f Lecturer, University of Bretagne Occidentale, Brest, France; Dental University Hospital of Brest, France.

^g Professor, Paris University, AP-HP Rothschild Hospital Paris; University of Lyon, Lyon 1; Multimaterials and Interfaces Laboratory, Villeurbanne, France.

^h Lecturer, Faculty of Dentistry, Strasbourg University, Department of Medicine and Dental Surgery, Strasbourg University Hospital, Strasbourg, France.

ⁱ Lecturer, Faculty of Dentistry, UFR Nancy, France.

^j Lecturer, Faculty of Dentistry, University of Bordeaux, Bordeaux, France; University Hospital of Bordeaux, Department of Dental Surgery, Bordeaux, France; INSERM, Tissue Bioengineering, Bordeaux, France.

^k Lecturer, Faculty of Dentistry Toulouse, University of Toulouse, AMIS Laboratory, Toulouse, France.

^l Doctor, Paris University, AP-HP Rothschild Hospital Paris; University of Lyon, Lyon 1; Multimaterials and Interfaces Laboratory, Villeurbanne, France.

^m Lecturer, Department of Conservative Dentistry, Faculty of Dentistry, University of Reims Champagne-Ardenne, France.

ⁿ Doctor, Faculty of Dentistry, University of Montpellier, France.

^o Professor, Inserm, Regenerative Medicine and Skeleton, ONIRIS, University of Nantes, Faculty of Dentistry, University Hospital, Nantes, France.

^p Lecturer, Faculty of Dentistry, Aix-Marseille University, IHU Méditerranée Infection, xxAUTHOR, TRANSLATE! Marseille, France.

^q Lecturer, University of Rennes, University Hospital of Rennes, Department of Conservative Dentistry, Rennes, France.

^r Professor, Faculty of Dentistry and Dental University Hospital, University of Brest, Brest, France.

^s Professor University of Clermont Auvergne, Faculty of Dentistry; Research Center for Clinical Dentistry, Clermont-Ferrand, France; University Hospital Estaing Clermont-Ferrand, Dental Services, Clermont-Ferrand, France.

^t Professor, Multimaterials and Interfaces Laboratory, Faculty of Dentistry, University of Lyon 1, Lyon, France; xxAUTHOR, TRANSLATE Hospices Civils de Lyon, Département d'Odontologie Conservatrice, Lyon, France.

Author contributions: MAG, LL and DS synthesised the results and wrote the manuscript. SD critically reviewed the manuscript and made suggestions. The other co-authors collected and captured the data in their respective dental faculties.

Correspondence: Professor Dominique Seux, Faculty of Dentistry Université Claude Bernard Lyon, 11 rue G Paradin, 69372 Lyon, France. Tel: + 33-670-24-8082; e-mail: dominique.seux@univ-lyon1.fr

Contemporary approaches to caries management have dramatically changed during the last decades. The treatment of caries involves assessment and management of risk factors.⁸ Preventive and non-invasive options based on individual caries risk must be favoured; restorative strategies must be postponed to later stages of lesion progression and must respect tooth structure and pulp vitality as much as possible.^{6,7,11,16,22,24,30,31} Minimal intervention (MI) in cariology is nowadays part of the latest recommendations for dental curricula.^{5,22,25,34} According to a recent expert Delphi consensus,³² non-cavitated carious lesions should be managed non- or micro-invasively, as should early cavitated carious lesions when the area around the lesion is easily accessible for cleaning. In contrast, cavitated lesions which are not cleansable usually require invasive/restorative management to restore shape, function and aesthetics.

Several questionnaire surveys have investigated the French general practitioners' (GPs) knowledge of and attitudes towards cariology.^{9,10,15,22} They all showed that, despite improvements in recent years,⁹ MI in cariology has not been fully integrated into everyday clinical dental practice. Moreover, the authors highlighted differences in the GPs' knowledge, perception and practice of MI with respect to different factors, notably gender, or reading specific articles on MI. Further, professional practice evolution is inherently linked to undergraduate and post-graduate education.²³

Although many studies have examined the content of teaching in cariology, particularly in operative/restorative dentistry,^{4,5,14,18,20,27-29} there is a lack of data related to the direct effect of undergraduate education in cariology on the knowledge, opinions and treatment attitudes of dental students (DSs). It is not clear whether MI concepts are currently acquired by FDSs.

This study was the first of its kind in France. Its purpose was to investigate the knowledge and opinions of French DSs (FDSs) at a national level on several areas of MI in cariology, namely, caries risk assessment, dental sealants (preventive and therapeutic), restorative thresholds, and strategies for proximal and occlusal lesions as well as deep-lesion management. The present publication focuses on restorative thresholds and management strategies for proximal and occlusal carious lesions.

MATERIALS AND METHODS

Study methods have already been described in a recent article based on the same set of data, but focusing on caries risk and dental sealants.¹⁹ Briefly, a questionnaire survey was administered during the spring of 2018 to fifth-year FDSs of all 16 French dental schools (Bordeaux, Brest, Clermont-Ferrand, Lille, Lyon, Marseille, Montpellier, Nancy, Nantes, Nice, Paris Descartes, Paris Diderot, Reims, Rennes, Strasbourg and Toulouse). This project was institutionally supported by the Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice (CNEOC; French national association of teachers in conservative dentistry). Printing and postal-mailing costs were sponsored by Colgate France.

Study Population and Questionnaire Administration

This cross-sectional study involved all fifth-year FDSs (penultimate year before graduation) of the 16 French dental schools (N = 1370). After explaining the purpose of the study, FDSs were invited to complete a questionnaire during a course specifically organised for this purpose. As the questionnaire only concerned the learning outcomes, no ethics committee approval was required, according to the French regulation.

A questionnaire was self-administered (paper format; 18 pages) to the FDSs. The content of the different sections of the questionnaire is described in detail in the original articles.^{9,10,15,19,33,35} It consisted of several question formats (yes/no questions, closed-ended questions with forced choice or multiple allowable answers, and open-ended questions with open-ended writing).

The present manuscript refers to questions related to restorative thresholds and management strategies for proximal and occlusal carious lesions, with two clinical cases of minor or questionable occlusal lesions (based on occlusal view and radiographs), and to beliefs about selected aspects of carious lesion diagnosis and treatment.^{9,35}

Data Capture and Analysis

Data were entered into Excel spread sheets by four people (three dentists [DS, MAG, SD] and a Master's student [LDB]). Descriptive and statistical analyses were performed with SPSS (IBM SPSS Statistics Version 19; Armonk, NY, USA). The present analyses were mainly descriptive. Missing data were not taken into account in the present study. A chi-squared test was used to assess 1. the associations between responses related to restorative thresholds and management strategies for proximal and occlusal lesions, and 2. gender and additional reading of scientific articles about MI in cariology. The level of significance was set at 5%.

The analysis comprised two main parts: questions related to restorative dentistry and questions related to two clinical cases of minor or questionable occlusal carious lesions.

Questions related to restorative dentistry

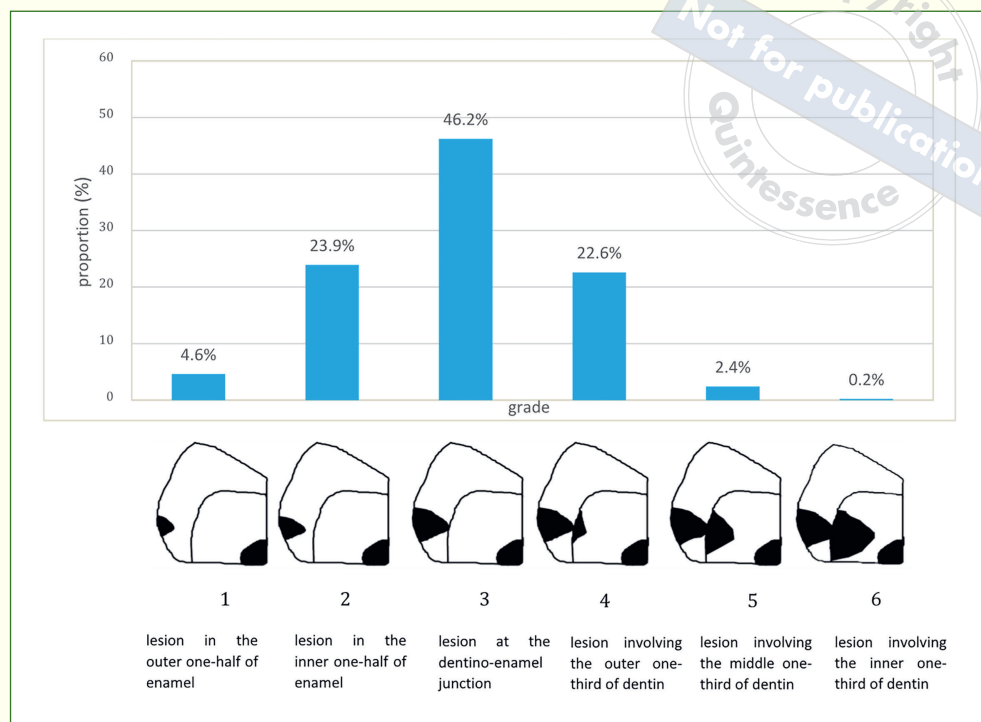
- Proximal restorative threshold: enamel lesions (grades 1 and 2) vs lesions at the enamel-dentin junction (EDJ) (grade 3) vs lesion involving the outer third of dentin (grade 4) vs deeper lesions (grades 5 and 6).
- Occlusal restorative threshold: enamel lesions (grades 1 and 2) vs deeper lesions (grades 3-5); FDSs were asked to indicate at which level they would intervene invasively.

Questions related to two clinical cases of minor or questionable occlusal carious lesions

Management options were subdivided into: non-invasive strategies (topical fluoride application and therapeutic sealants) vs invasive strategies (restoration placement after cavity preparation limited to removal of carious tissue only vs cavity preparation limited to removal of carious tissue combined with sealant vs cavity preparation involving the whole fissure).

Both clinical cases were supposed to be at low caries risk.

Fig 1 The earliest stage of proximal carious development, as assessed by radiography, at which the respondents (n = 1149) would intervene surgically.



RESULTS

All 16 French dental schools participated in the survey. Among the 1370 five-year FDSs, a total of 1158 completed the questionnaires (mean age: 24.5; 53.5% women), leading to a response rate of 84.5% (from 32.9% to 100% according to dental schools). Non-participants were FDSs who were absent the day of the survey. Over one-third of the respondents (35%) had already read scientific publications about MI in cariology.

Restorative Threshold, Cavity Preparation and Material

Proximal carious lesions

A total of 74.7% of the respondents considered that restorative treatment (cavity preparation and restoration placement) is appropriate for a carious lesion confined to enamel reaching or not the EDJ (grades 1-3) (Fig 1), while 22.6% would wait for the lesion to reach the outer third of dentin (grade 4). FDSs who had read scientific articles would postpone their restorative threshold to the dentin level statistically significantly more often than would students who had not read scientific articles ($p = 0.028$). The preferred cavity designs for the smallest lesion requiring immediate restoration were tunnel (48.7%) or saucer-shaped (46.8%) preparations. However, 4.5% of respondents chose traditional Black class II preparations. FDSs who had read scientific articles were more interested in tunnel preparations, while those who did not were more likely

to choose a saucer-shaped cavity design ($p = 0.03$). Responses varied according to gender; indeed, men were more likely to choose Black's cavity preparation method than were women ($p = 0.026$). The preferred dental material was composite resin for almost all respondents.

Occlusal carious lesions

Overall, 10.7% of the respondents would restore a lesion confined to enamel (grades 1 and 2). Nearly three out of four respondents (72.3%) would place their restorative threshold at the outer third of the dentin (grade 3). Lastly, 16.9% would wait for the lesion to reach the middle third of the dentin or even deeper (Fig 2). A large majority of respondents (83.5%) would limit the preparation to the lesion, while 15% would involve the entirety of occlusal fissures. Almost all respondents (98.9%) would opt for the use of a composite resin.

Diagnosis and Treatment Alternatives for Minor or Questionable Occlusal Carious Lesions

Tooth 1

Respondents varied markedly in their diagnosis: half of the respondents (52.7%) diagnosed an enamel lesion and 17.4% a dentin lesion, while 18.2% did not identify any lesion and 11.7% were uncertain (Fig 3). About 39% opted for operative treatment, whereas 52.4% chose non-invasive strategies involving fluoride and remineralisation, and 8.4% would not propose any treatment.

Among the FDSs who diagnosed the presence of an enamel lesion, 62.4% would indicate non-invasive strat-

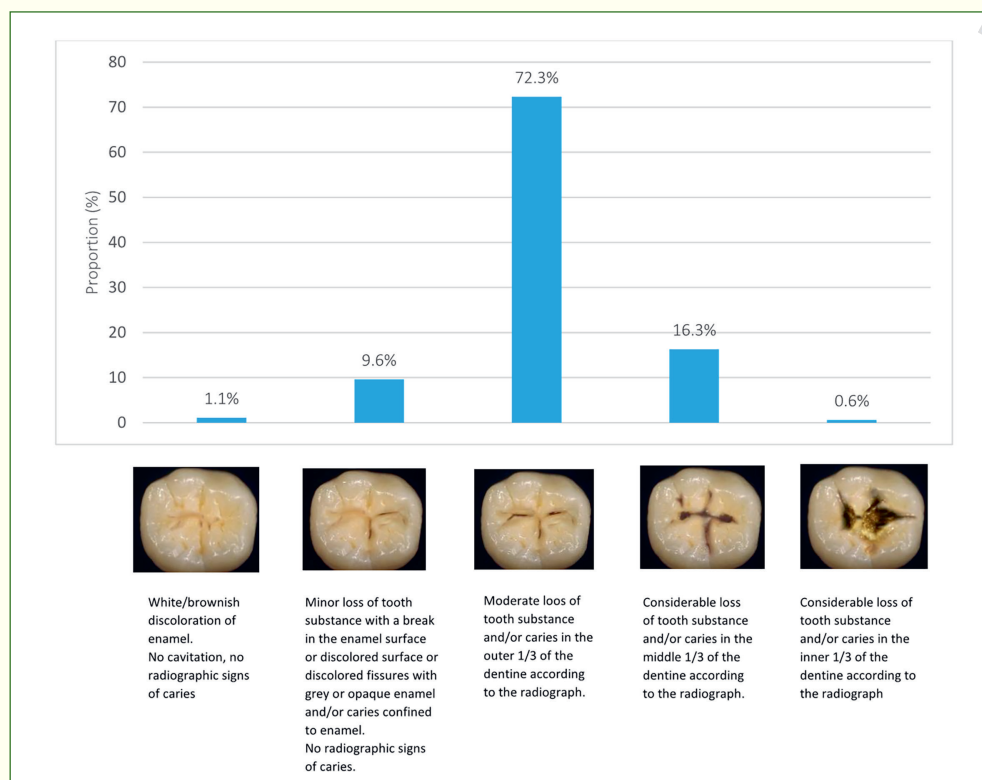


Fig 2 The earliest stage of occlusal carious development, as assessed clinically and radiographically, at which the respondents (n = 1156) would intervene with operative treatment.

egies, while 34% would perform a cavity preparation and place a restoration (3.6% would not treat). Among those who were uncertain about the presence/absence of a lesion, 32.1% would intervene surgically.

Tooth 2

The diagnostic variability observed for tooth 1 was also found for tooth 2; indeed, 44.5% of respondents believed that tooth 2 presented an enamel carious lesion, whereas 19.2% diagnosed the presence of a dentin lesion. 17.9% stated that the occlusal surface was sound and 18.4% remained uncertain.

Nearly half of the respondents (49.2%) would indicate operative treatment. The others (42.1%) would indicate non-invasive treatment (fluoride application: 11.7%; sealant: 30.4%) and a minority (8.7%) would not propose any treatment.

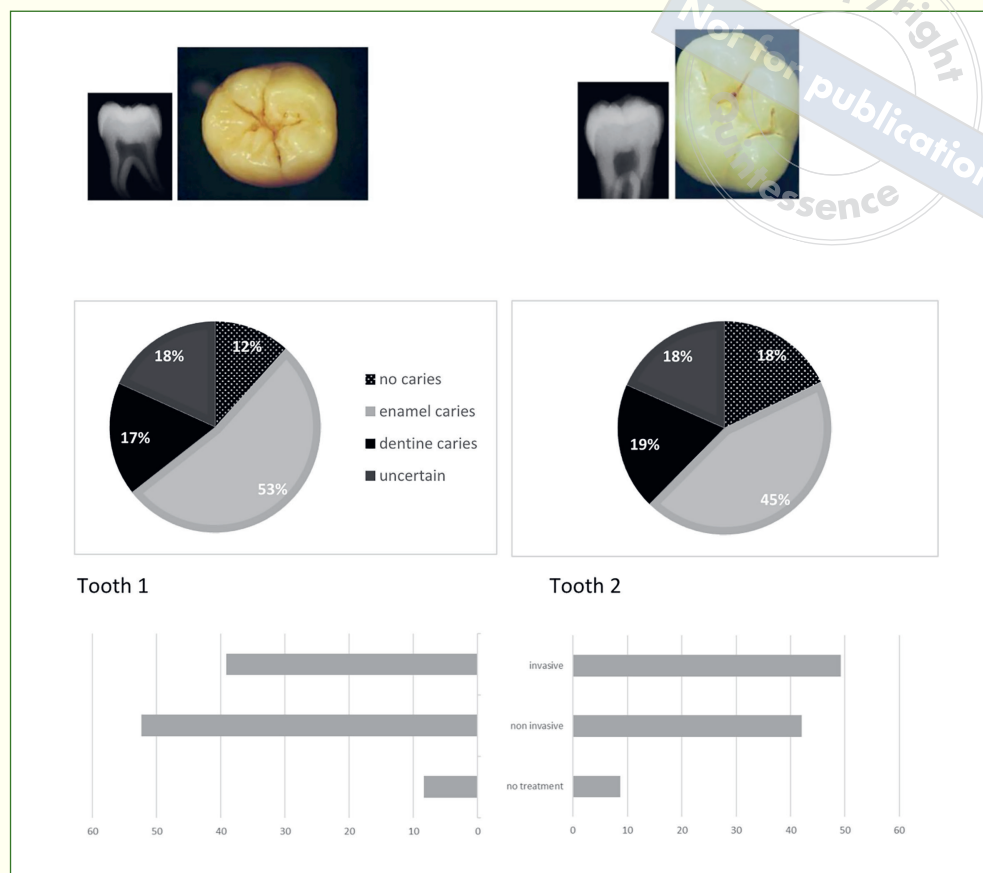
Therapeutic options differed according to gender: men would choose statistically significantly more therapeutic abstinence and women more restoration placement ($p = 0.001$). Similar to the results for tooth 1, 51.6% of FDSs who diagnosed the presence of an enamel lesion would drill and fill. Likewise, among those who were uncertain about the presence/absence of a lesion, 40% would also choose an invasive option.

Knowledge of FDSs on the Caries Process

The vast majority of the respondents (85.6%) believed that radiographs tended to underestimate the depth of a lesion

compared to clinical findings. There was considerable variability in responses with regard to the time it takes for a proximal lesion to progress from the outer enamel to the EDJ. Indeed, 23.8% thought that a duration of between 7 and 11 months was necessary, whereas 24.6% reported over 12 months. A proportion of 30.1% of FDSs would monitor a radiographically detected lesion near the EDJ for six months to determine whether this lesion was active and to evaluate its rate of progression. In contrast, 51.8% would not, while 18.1% were uncertain. Men would significantly monitor lesions less frequently than women ($p = 0.022$). While 40.7% of the respondents agreed that a proximal lesion at the EDJ has a visible cavitation, 37.1% disagreed and 22.2% were uncertain. When asked about the relative importance of under- and over-treatment, the majority of FDSs (57.3%) answered that these risks of error were of equal importance, although 28.1% thought that it was more important not to fill sound teeth unnecessarily (accepting the risk of not restoring some carious lesions), and 13.9% stated that it was more important to fill all carious teeth (accepting the risk of some unnecessary restorations). Answers significantly differed according to the reading or not of scientific articles; specifically, those who read scientific articles were more likely to find it more important not to fill sound teeth unnecessarily than were those who did not ($p = 0.033$).

Fig 3 Respondents' diagnoses (pie charts) and treatment suggestions (bar charts) for teeth 1 and 2 (number of respondents: n = 1132 for tooth 1; n = 1138 for tooth 2).



DISCUSSION

The present study, the first of its kind in France and worldwide, provides an overview of FDSs knowledge and behaviours regarding MI in cariology, more specifically in the context of proximal and occlusal carious lesions. All 16 French dental schools participated in the present study. Given the global satisfactory response rate (84.5%), it can be postulated that the results are highly representative of the knowledge and opinions of all fifth-year FDSs at the time of the study.

MI principles appeared to be partially integrated by FDSs for both proximal and occlusal carious lesion management.

When considering the proximal restorative threshold (Fig 1), 46.2% of the respondents placed it in grade 3 (at the EDJ), while a noticeable proportion of them tended to be even more invasive, as they operatively intervened for grade 1 (4.6%) and 2 (23.9%) lesions. It appears that these attitudes do not correspond to current guidelines recommending non- and micro-invasive interventions for lesions that have not progressed to the outer third of the dentin, in the absence of visible cavity.³² Although lesions confined to enamel are rarely cavitated (around 10%), the presence of cavitation increases when they reach EDJ and beyond (40% of cavitation for a radiolucency within external half of dentin).^{26,32} The

presence of any cavitation was not documented in the present study. Thus, provided that the carious lesion was not pre-identified with certainty as being cavitated, at least 74.7% of FDSs would 'drill and fill' proximal enamel lesions (Fig 1), which could have benefited from non-invasive remineralisation strategies.¹

Regarding the occlusal restorative threshold, 83% of the respondents would operatively intervene for lesions affecting the enamel and the outer third of dentin (Fig 2), for which therapeutic sealants would actually have been indicated.³² Moreover, for the earlier stage of caries progression requiring restoration, 15% of the respondents would perform a Black cavity preparation (opening the whole fissure system), which today would be considered iatrogenesis.¹³

The present results illustrate the presence of a gap between the evidence on the one hand and the knowledge and practices of FDSs on the other. Nevertheless, it seems that these FDSs tended to postpone invasive strategies to later stages of carious progression of occlusal lesions than FGPs did in 2012.⁹ Indeed, a substantially higher rate of surgical intervention by FGPs was observed for grade 2 occlusal carious lesions compared with FDSs (37.2% vs 9.6%), which clearly shows that FDSs were more likely to intervene at a later stage (72.3% at grade 3) than FGPs.⁹

Responses related to the two clinical cases (teeth 1 and 2) indicated that a significant percentage of FDSs would operatively intervene when they diagnosed enamel lesions (34% and 51.6% for teeth 1 and 2, respectively) or even when they were uncertain of the presence/absence of a carious lesion (32.1% and 40% for teeth 1 and 2, respectively). This could reflect the fear of FDSs in the face of uncertainty, as already described among dentists.² However, in a non-life-threatening context involving caries (in absence of specific medical conditions), over-treatment is iatrogenesis, and a conservative approach such as sealants is recommended for ICDAS 1-4 lesions, particularly in patients whose risk factors are under control, as suggested in the present survey.^{30,32} FDSs' responses were based on the radiographs and photographs provided in the questionnaire. It can be argued that some clinical elements such as probing with the WHO probe or a precise evaluation using ICDAS might not be clear (especially the distinction between ICDAS 1 and 2, which are only presented on dry occlusal surfaces).

It seems that the reading of scientific articles positively influenced FDSs' treatment decisions. Indeed, FDSs who read scientific articles were more likely to postpone their proximal restorative threshold for later stages of caries progression and more often opted for a minimally invasive cavity design such as tunnel preparation. French Dental Universities must encourage FDSs to improve their education through scientific literature, as only a minority (34.8%) reported reading scientific articles about MI in cariology. These findings are consistent with those of Hélie et al,¹⁵ who found that FGPs who read scientific articles on this topic were more likely to be convinced of the effectiveness of preventive sealants. Likewise, differences in responses were noted according to gender, which corresponds to studies conducted among FGPs.^{12,15,33}

Some limitations of the present survey should not be overlooked. First, the present study was conducted among FDSs in their fifth year of the dental curriculum, which is the penultimate year before graduation. At the French Dental Universities, the last year is devoted to internships (similar to vocational training) in private practice and only management and professionally oriented courses are given; the certificate of practice is delivered at the end of the 5th year. Thus, a better integration of MI concepts could have been expected among the 6th-year FDSs and the start of the final year of training would surely have been the most appropriate time to administer the questionnaire. Secondly, it can be hypothesised that treatment attitudes in 'real' practice settings may differ from those reported in the present survey. Indeed, as this study was purely declarative, desirability bias cannot be excluded. Further, it may be difficult to extrapolate our findings to other countries due to the variety of dental practices and curricula. The multiplicity of analytical analyses could have led to false-positive results. Finally, reading scientific articles was not based on any specific criteria.

Improving FDSs knowledge and behaviours with respect to MI requires reinforcement of their training on this topic, to better adhere to recent curricula on cariology^{3,5,29} and consensus for carious lesion management.³¹ Besides,

some FDSs who do not adhere to MI may in fact be insufficiently aware of MI, have mistaken beliefs or simply turned a blind eye. In the latter cases, the potential barriers or reasons for not using MI ought to be understood. Qualitative studies on these issues could provide additional explanations useful for optimising MI dissemination among these FDSs. In addition, it would be relevant to precisely reference the content of the cariology courses in the 16 French dental schools to highlight the potential gaps between the evidence of MI and the different dental curricula, as has been done in Australia, New Zealand, and the Spanish-speaking countries of Latin America.^{21,27} It should be noted that a cross-sectional comparison between faculties was not intended in this study, so as not to point out any discrepancies. The aim of the CNEOC (French national association of teachers in conservative dentistry) is to finally promote the definition of a single curriculum agreed upon at the national level.

CONCLUSION

There is a need to improve the awareness of FDSs about MI, to induce them to postpone invasive strategies to later stages of caries progression (lesion involving the middle third of dentin) and to prefer non-invasive or preventive strategies (topical fluoride application, therapeutic sealants and monitoring). Indeed, a more conservative approach in the management of carious lesion will avoid starting a deleterious cycle of dental restorations, thus improving the cost effectiveness of our treatment. Likewise, promotion of wider use of MI in dental practice by the National Guidelines is desirable and better reimbursement of preventive and restorative therapeutic treatment in dentistry is also needed.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Professor Maxime Beaurain for implementing the study in Lille Dental University, Ms Laura Dupont-Butez for her help in data collection and entry, and the students who participated in the study. Printing and postal fees were sponsored by Colgate France.

REFERENCES

1. Arifa MK, Ephraim R, Rajamani T. Recent advances in dental hard tissue remineralization: a review of literature. *Int J Clin Pediatr Dent* 2019;12:139-144.
2. Bader JD, Shugars DA. What do we know about how dentists make caries-related treatment decisions? *Community Dent Oral Epidemiol* 1997;25:97-103.
3. Bottenberg P, Ricketts DNJ, Van Loveren C, Rahiotis S, Schulte AG. Decision-making and preventive non-surgical therapy in the context of a European Core Curriculum in Cariology. *Eur J Dent Educ* 2011;15(suppl 1): 32-39.
4. Brunton PA, Ghazali A, Tarif ZH, Loch C, Lynch C, Wilson N, et al. Repair vs replacement of direct composite restorations: a survey of teaching and operative techniques in Oceania. *J Dent* 2017;59:62-67.
5. Buchalla W, Wiegand A, Hall A. Decision-making and treatment with respect to surgical intervention in the context of a European Core Curriculum in Cariology. *Eur J Dent Educ* 2011;15(suppl 1):40-44.

6. Dawson AS, Makinson OF. Dental treatment and dental health. Part 1. A review of studies in support of a philosophy of Minimum Intervention Dentistry. *Aust Dent J* 1992;37:126–132.
7. Dawson AS, Makinson OF. Dental treatment and dental health. Part 2. An alternative philosophy and some new treatment modalities in operative dentistry. *Aust Dent J* 1992;37:205–210.
8. Doméjean S, Banerjee A, Featherstone JDB. Caries risk/susceptibility assessment: its value in minimum intervention oral healthcare. *Br Dent J* 2017;223:191–197.
9. Doméjean S, Léger S, Maltrait M, Espelid I, Tveit AB, Tubert-Jeannin S. Changes in occlusal caries lesion management in France from 2002 to 2012: a persistent gap between evidence and clinical practice. *Caries Res* 2015;49:408–416.
10. Doméjean S, Léger S, Simon A, Boucharel N, Holmgren C. Knowledge, opinions and practices of French general practitioners in the assessment of caries risk: results of a national survey. *Clin Oral Investig* 2017;21:653–663.
11. FDI World Dental Federation. FDI policy statement on Minimal Intervention Dentistry (MID) for managing dental caries: Adopted by the General Assembly: September 2016, Poznan, Poland. *Int Dent J* 2017;67:6–7.
12. Finet M, Holmgren C, F S, Stangvaltaite L, Maltz M, Domejean S. La prise en charge des lésions carieuses profondes par les omnipraticiens français. *L'Information dentaire* 2016;8:19–27.
13. Göstemeyer G, Schwendicke F, Blunck U. Restoring the carious lesion. *Monogr Oral Sci* 2018;27:42–55.
14. Hayashi M, Yamada T, Lynch CD, Wilson NHF. Teaching of posterior composites in dental schools in Japan – 30 years and beyond. *J Dent* 2018;76:19–23.
15. Hélie B, Holmgren C, Gaillot L, Domejean S. Scellements préventifs et thérapeutiques : Connaissances et pratiques des omnipraticiens français. *Inf Dent* 2016;37:20–20.
16. Innes NPT, Chu CH, Fontana M, Lo ECM, Thomson WM, Uribe S, et al. A century of change towards prevention and minimal intervention in cariology. *J Dent Res* 2019;98:611–617.
17. International Caries Classification and Management System [Internet]. ICCMS 2018 [cited 2020 Jan 8]. Available at <https://www.iccms-web.com/>
18. Kanzow P, Wiegand A, Göstemeyer G, Schwendicke F. Understanding the management and teaching of dental restoration repair: Systematic review and meta-analysis of surveys. *J Dent* 2018;69:1–21.
19. Le Clerc J, Gasqui M-A, Laforest L, Beaurain M, Ceinos R, Chemla F, et al. Knowledge and opinions of French dental students related to caries risk assessment and dental sealants (preventive and therapeutic). *Odontology* 2021;109:41-52.
20. Loch C, Liaw Y, Metussin AP, Lynch CD, Wilson N, Blum IR, et al. The teaching of posterior composites: A survey of dental schools in Oceania. *J Dent* 2019;84:36–43.
21. Martignon S, Gomez J, Tellez M, Ruiz JA, Marin LM, Rangel MC. Current cariology education in dental schools in Spanish-speaking Latin American countries. *J Dent Educ* 2013;77:1330–1337.
22. Martignon S, Pitts NB, Goffin G, Mazevet M, Douglas GVA, Newton JT, et al. CariesCare practice guide: consensus on evidence into practice. *Br Dent J* 2019;227:353–562.
23. McGlone P, Watt R, Sheiham A. Evidence-based dentistry: an overview of the challenges in changing professional practice. *Br Dent J* 2001;190:636–639.
24. Pitts N. ICCMSTM Guide for Practitioners and Educators. King's College London Dental Institute, Dental Innovation and Translation Centre, Guy's Hospital, London, UK, Maurice H. Kornberg School of Dentistry, Temple University, Philadelphia, USA, UNICA Caries Research Unit, Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia, University of Copenhagen, Denmark, School of Dentistry, University of Leeds, UK, 2014;84.
25. Pitts N. Preventive and minimal intervention dentistry in the undergraduate curriculum. *J Dent* 2011;39:S41–S48.
26. Pitts NB, Rimmer PA. An in vivo comparison of radiographic and directly assessed clinical caries status of posterior approximal surfaces in primary and permanent teeth. *Caries Res* 1992;26:146–152.
27. Raphael SL, Foster Page LA, Hopcraft MS, Dennison PJ, Widmer RP, Evans RW. A survey of cariology teaching in Australia and New Zealand. *BMC Med Educ* 2018;18:75.
28. Schulte AG, Buchalla W, Huysmans M-CDNJM, Amaechi BT, Sampaio F, Vougiouklakis G, et al. A survey on education in cariology for undergraduate dental students in Europe. *Eur J Dent Educ* 2011;15(suppl 1):3–8.
29. Schulte AG, Pitts NB, Huysmans MCDNJM, Splieth C, Buchalla W. European Core Curriculum in Cariology for undergraduate dental students. *Eur J Dent Educ* 2011;15(suppl 1):9–17.
30. Schwendicke F. Removing Carious Tissue: Why and How? In: Schwendicke F, Frencken J, Innes N, eds. *Monogr Oral Sci* 2018;27:56–67.
31. Schwendicke F, Frencken JE, Bjørndal L, Maltz M, Manton DJ, Ricketts D, et al. Managing carious lesions: consensus recommendations on carious tissue removal. *Adv Dent Res* 2016;28:58–67.
32. Schwendicke F, Splieth C, Breschi L, Banerjee A, Fontana M, Paris S, et al. When to intervene in the caries process? An expert Delphi consensus statement. *Clin Oral Investig* 2019;23:3691–3703.
33. Schwendicke F, Stangvaltaite L, Holmgren C, Maltz M, Finet M, Elhennawy K, et al. Dentists' attitudes and behaviour regarding deep carious lesion management: a multi-national survey. *Clin Oral Invest* 2017;21:191–198.
34. Splieth CH, Innes N, Söhnel A. Evidence-based cariology in clinical and public health practice as part of the European Core Curriculum in Cariology. *Eur J Dent Educ* 2011;15(suppl 1):45–51.
35. Tubert-Jeannin S, Doméjean-Orliaguet S, Riordan PJ, Espelid I, Tveit AB. Restorative treatment strategies reported by French university teachers. *J Dent Educ* 2004;68:1096–103.



Occlusal and approximal carious lesions - Restorative thresholds among French dental students

MA. Gasqui¹, C. Mocquot², L. Laforest², L. Dupont-Butez³, M. Beaurain⁴, R. Ceinos⁵, F. Chemla⁶, V. Chevalier⁷, P. Colon², F. Fioretti⁸, A. Gevrey⁹,
O. Kérourédan¹⁰, J. Le Clerc¹¹, D. Maret¹², C. Ozcan¹³, B. Pelissier¹⁴, F. Perez¹⁵, E. Terrer¹⁶, R. Arbab-Chirani⁷, D. Seux¹, S. Doméjean³
¹ Lyon, France; ² Paris Diderot, France; ³ Clermont-Ferrand, France; ⁴ Lille, France; ⁵ Nice, France; ⁶ Paris Descartes, France; ⁷ Brest, France; ⁸ Strasbourg, France; ⁹ Nancy, France; ¹⁰ Bordeaux, France; ¹¹ Rennes, France; ¹² Toulouse, France; ¹³ Reims, France; ¹⁴ Montpellier, France; ¹⁵ Nantes, France; ¹⁶ Marseille, France; sophie.domejean@uca.fr – ma.gasqui@gmail.com

Introduction

MINIMAL INTERVENTION (MI) in Cariology

=
Caries risk management
Preventive and non-invasive options
Minimally invasive strategies for later stages of caries progression
Repair of defective restorations

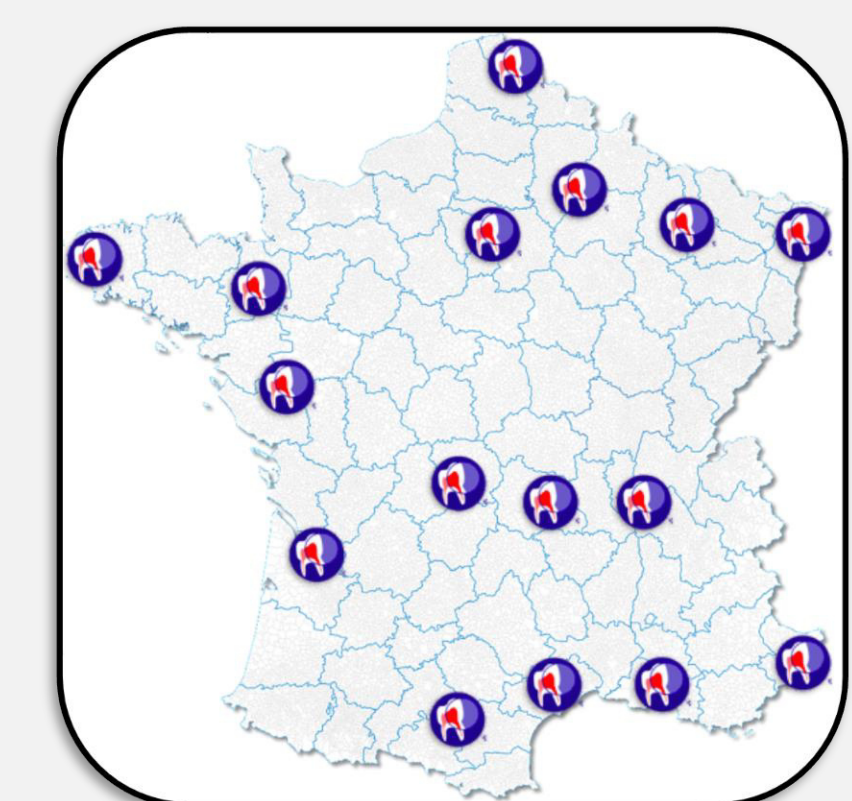
Objectives

A questionnaire survey to investigate
PRACTICES - KNOWLEDGE – OPINIONS of dental students
in MI in cariology,
more particularly on their restorative thresholds

“when do I need to intervene restoratively (invasively)?”

Material & methods

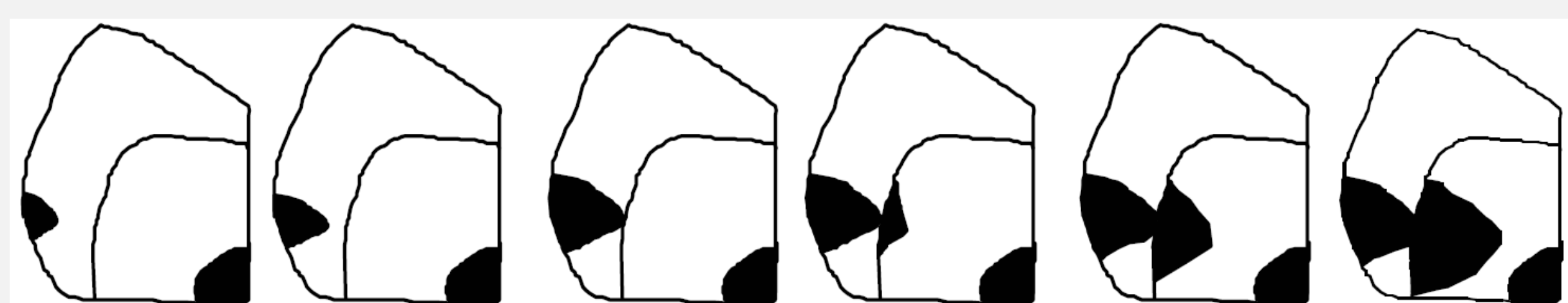
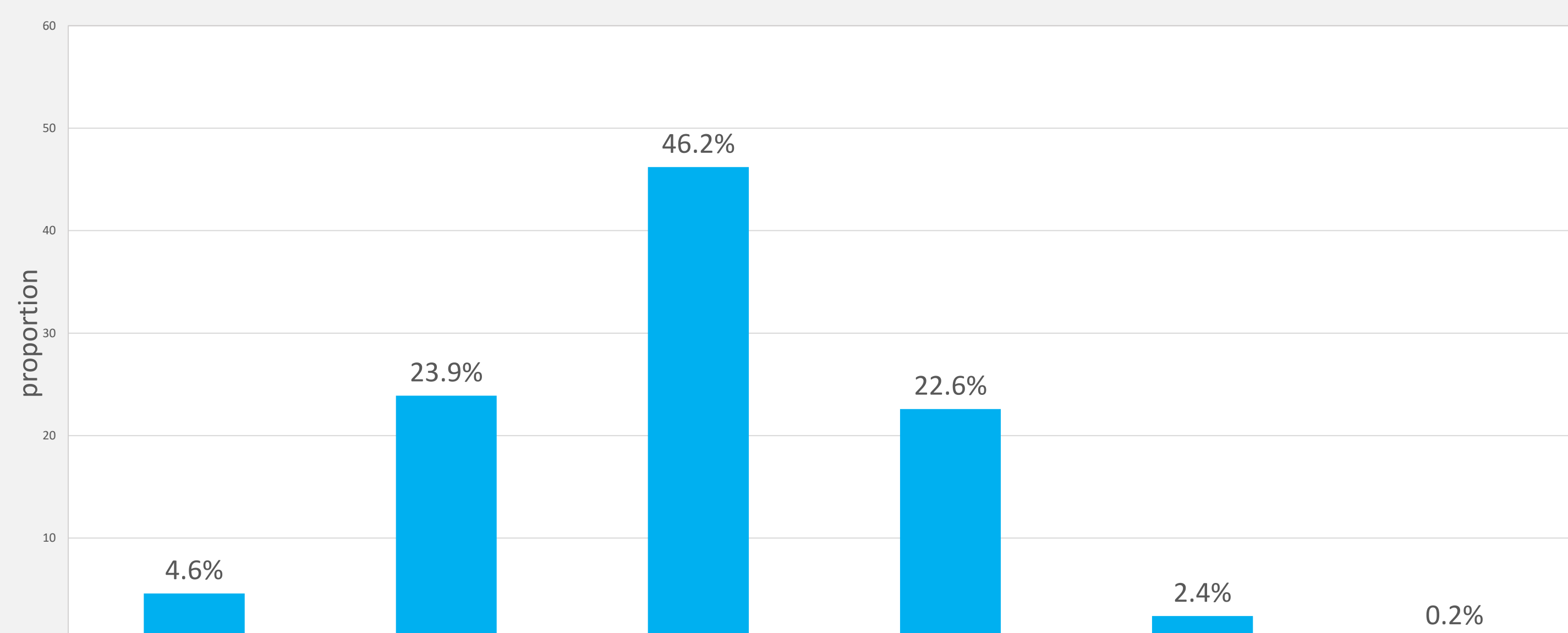
A QUESTIONNAIRE SURVEY (Spring 2018) – 16 French dental schools
FIFTH-YEAR DENTAL STUDENTS (n=1,370)
(dental course: six years in France)
Statistical analyses (descriptive, χ^2)



Results

Response rate: 84.5% (32.9-100%) (n=1,158)
Gender: men: 53.5%; women: 46.5%
Mean age: 24.5 year-old (± 2.12) (21–44)

APPROXIMAL RESTORATIVE THRESHOLD (n=1,149 respondents)

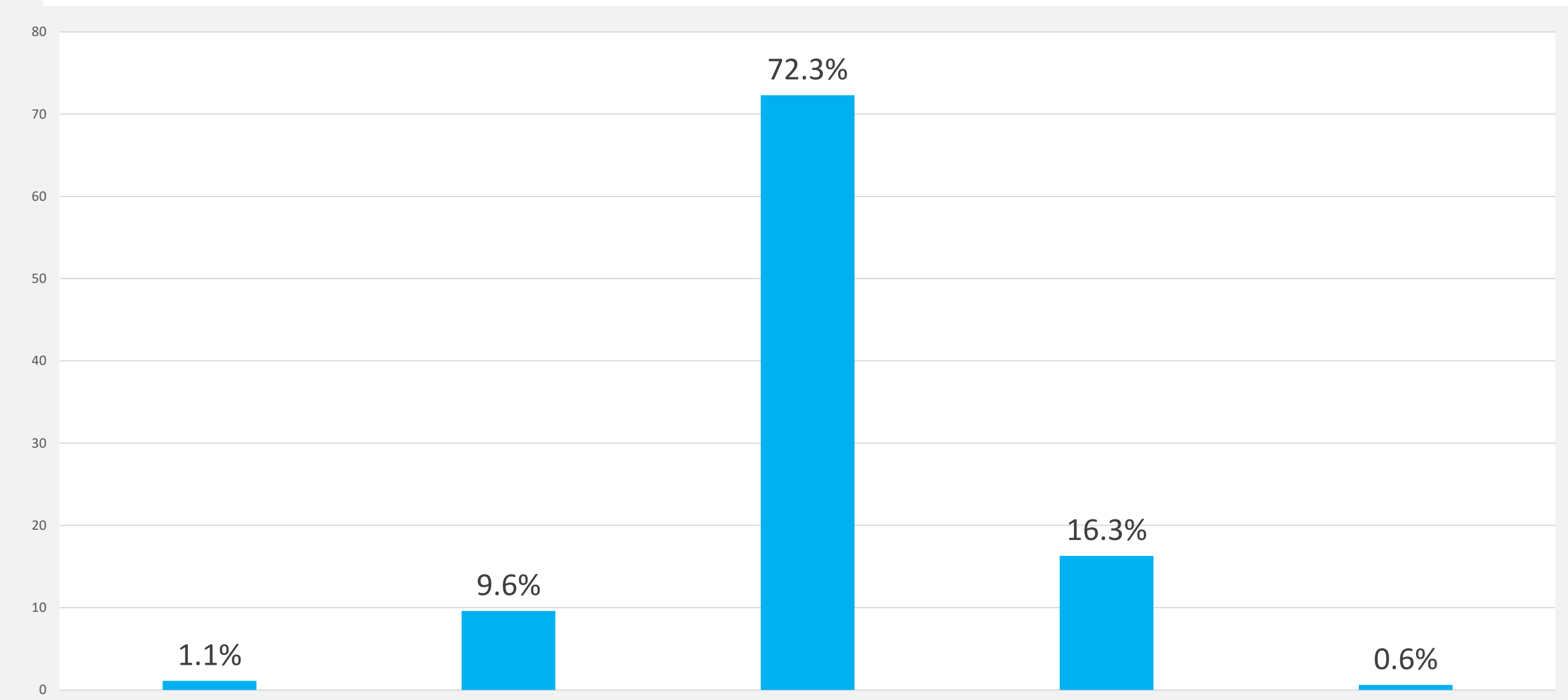


- 74.8% of respondents considered that a cavity preparation and a restoration placement were appropriate for lesion confined to enamel or reaching the enamel-dentin junction
- 22.6% would wait until the lesion reaches the outer 1/3 of dentin.

CAVITY DESIGN

Tunnel	48.7%
Occluso-proximal cavity	46.8%
Black class II cavity	4.5%

OCCLUSAL RESTORATIVE THRESHOLD (n=1,156 respondents)



- 72.3% would perform a cavity preparation and a restoration placement for lesion progressing into the outer 1/3 of dentin.

CAVITY DESIGN

Removal of carious tissue only	83%
Open the whole fissure system	15%
Other	2%

- RESTORATIVE MATERIAL: composite resin: > 95% of respondents

Conclusion

Develop evidence-based MI education in French dental schools

- Need for dental students to postpone their restorative threshold to later stages of caries progression

- Need for harmonization of education according to European guidelines

¹F. Schwendicke, JE. Frencken et al. (2016) *Adv Dent Res*. 28:58–67 ²S. Doméjean, S.Léger et al. (2015) *Caries Res* 49: 408-16

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors thank:

- the Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice (CNEOC) for institutional support;
- Colgate France, and particularly Frédéric Hérisson, for financial and administrative support.

Knowledge and opinions of French dental students in operative dentistry - management of deep carious lesions

Abstract

Purpose

A questionnaire survey was recently undertaken among French dental students (FDSs) to investigate their practices, knowledge and opinions in various domains of Minimal Intervention (MI) in cariology. The present work focuses on management of deep carious lesions (DCLs).

Materials and Methods

The questionnaire was administered (Spring 2018) to all the fifth-year students of the 16 French dental schools. Statistical tests (descriptive, χ^2) were performed.

Results

Among 1370 FDSs (response rate: 84.5%), hardness was the most commonly reported criterion for assessing the endpoint of carious tissue removal (53.9%), followed by firm dentin (40.0%). Regarding FDSs' opinion of leaving carious dentine under a restoration, 41.9% of the respondents agreed that carious tissues should always be removed completely. For an asymptomatic tooth with DCL and exposed pulp, direct pulp capping was mainly chosen (93.9%). In a clinical case correctly diagnosed as a reversible pulpitis by 79.7% of respondents, nearly half of FDSs chose a one-step complete excavation (48.4%) followed by selective excavation (25.1%), then two-step complete excavation (20.9%) and a minority (5.7%) opted for pulpal therapy (biopulpotomy or endodontic treatment). Interestingly, FDSs reading scientific articles on MI tended to be better aware of maintaining pulpal vitality opting for tissue preservation.

Conclusion

The present results suggest an inadequate dissemination of MI concepts among FDSs towards DCL management. The present results show the need for a harmonization and a reinforcement of teaching evidence-based MI according to the latest European recommendations.

Key words:

- Deep carious lesions

- Minimal intervention
- Dental education
- Dental students

Introduction

The contemporary approach to caries management (minimal intervention or MI) has dramatically changed and new concepts in cariology have increasingly gained interest in dental practice. Currently, only cavitated carious lesions which either are non-cleansable or can no longer be sealed, need restorative interventions.¹⁸ Thus, MI aims to control existing carious lesions and to preserve hard dental tissues whenever possible. MI enables the preservation of the tooth, avoiding invasive therapeutic options, including an expensive re-restoration circle.^{14,18}

The traditional management of DCL relies on the non-selective removal of all soft dentine until hard dentin is felt. Nonetheless, this approach can be challenging given the risk of pulp exposure and the occurrence of subsequent complications, namely hypersensitivity, pulp exposure and endodontic procedures.¹⁹ The International Caries Consensus Collaboration currently advocates for DCL alternative approaches avoiding pulp exposure and based on selective removal of carious dentine or stepwise removal in adults. Conversely, complete caries removal is henceforth considered as over-treatment.^{10,14,18}

Recent studies show that therapeutic approaches based on MI have only partially entered dental clinical practice, more particularly when managing DCL.^{4,12,19,24}

In addition to an insufficient knowledge of some clinicians,⁸ different barriers related to health systems persist to allow a better implementation of MI in dental care.⁶

University training is a key period to acquire therapeutic concepts. In view of optimizing the dissemination of MI in dental care and of tailoring university training on MI in cariology, there is a need to document dental students' (FDSs) beliefs and therapeutic behaviors with respect to the DCL management.

A study, the first of its kind in France, was thus undertaken to investigate the knowledge and opinions of FDSs at a national level about several areas of MI in cariology, namely caries risk assessment, dental sealants (preventive and therapeutic), restorative thresholds and strategies for proximal and occlusal lesions, and DCL management.

The present manuscript focuses on DCL management.

Methods

The methodology of the study has already been described.¹³ Briefly, a questionnaire survey was conducted in May-June 2018 among the fifth-year FDSs (penultimate year before graduation; n=1,370) of the 16 public French dental schools (Bordeaux, Brest, Clermont-Ferrand, Lille, Lyon, Marseille, Montpellier, Nancy, Nantes, Nice, Paris Descartes, Paris Diderot, Reims, Rennes, Strasbourg and Toulouse). As the present study only focused on FDSs' learning outcomes, no approval of ethical committees was required according to the French regulation.

All FDSs were included, there were no criteria of exclusion.

The questions administered to FDSs come from a questionnaire previously used for surveys among general dental practitioners (FGDPs).^{4,7,8,11,12,19,21,22} This questionnaire was anonymously self-administered to the FDSs in a specific session organized in each dental school. The present article is focused on the management of DCL. FDSs characteristics consisted of gender and of reading scientific articles ("have you read scientific articles with respect to minimal intervention in cariology in addition to the academic courses delivered during your university curriculum?").

First, respondents were invited to complete questions regarding routine approaches to treat DCLs, along with the reasons for their treatment preferences and knowledge-related attitudinal items. These questions were then followed by three clinical cases (CC) consisting of young patients with low carious risk, no medical history of allergies or use of medications. Patient's general and dental history, oral hygiene practices were documented. These three patients complained about the occurrence of pain induced by chewing and/or by a cold stimulation in posterior teeth. In each CC, a clinical occlusal view before and after opening the lesion were provided as well as a periapical radiograph. All carious lesions reached 75 percent of dentinal thickness, thus the risk of pulp exposure was a reality for the three cases. Further, respondents were invited to choose the most likely diagnosis with the most relevant treatment. The following subgroups were used for statistical analysis related to the CC treatment strategies: complete excavation (one or two steps) versus selective excavation versus pulp therapy (pulpotomy and endodontic treatment).

The data were entered into an Excel spread sheets by four persons (three dentists: DS, MAG, SD and a Master student: LDB). The descriptive and statistical analyses were performed with SPSS® (IBM SPSS Statistics Version 19).

All responses provided by FDSs were compared according to gender and reading of scientific articles. The Chi-square tests were used. When validity criteria were not met, Fisher tests were performed when applicable. The level of significance was set at 5%.

Results

Participants' characteristics

All of the 16 French dental schools participated to the survey. Among 1370 FDSs, a total of 1,158 fulfilled questionnaires (response rate: 84.5%) were collected. The number of FDSs per dental school ranged from 26 to 122. The average age of the participants, at the time of the study, was 24.5 (± 2.12) year-old (46.5% of men). Among FDSs, 35.0% had already read scientific publications about MI in cariology. Men were more likely to read scientific articles than women ($p=0.032$).

Knowledge and attitude on the management of DCL

Criteria, methods and strategies for carious tissue removal

Table 1 presents the criteria and methods used by FDSs for caries tissue removal in DCLs. The most frequent responses for hardness criteria were hard dentine and leathery dentin. Normal to yellow was the most cited item regarding colour. "Moisture" was not a relevant criterion for most respondents.

Hand excavator and metal burs were the primarily opted excavation methods by FDSs. Almost all students reported to use rubber dam and over 80% performed cavity disinfection.

Women were more likely to consider colour as a non-relevant criterion ($p=0.005$). Men were more likely to opt for moist dentine and women to judge this criterion non-relevant ($p=0.004$). Men were more likely to use ceramic burs ($p<0.001$). Reading scientific article was significantly associated to the chosen criteria: choice of leathery dentin rather than hard dentin to complete excavation ($p=0.004$). Those who read articles reported more often moist dentine as a criterion ($p=0.004$). FDSs who read article significantly reported more often hand excavator ($p=0.005$) and chemo-mechanical techniques of excavation ($p=0.004$). They were also significantly more likely to use rubber dam ($p=0.047$) and cavity disinfection ($p<0.001$).

Reasoning and decision-making

When asked for the reasons underlying their excavation strategy, about 80% of respondents knew that a certain number of microorganisms could be left because restorations seal carious tissue (Table 2). FDSs who read articles agreed even significantly more with this strategy ($p=0.031$). Similarly, 77.3% of students believed that pulpo-proximal carious dentine might be left to avoid pulp exposure. Conversely, some FDSs believed that cariogenic microorganisms needed to be removed completely, since residual caries might constitute a risk for the vitality of the pulp (41.9%) or for carious lesion progression (39.2%). Those who read scientific article on MI were less likely to agree with the latter statement ($p=0.013$).

Table 3 represents the reasons guiding therapeutic options. Decisions were largely driven by recommendations from teachers or peers, and the good results obtained with the chosen therapy. Over half of the respondents reported recommendations by clinical studies or guidelines and ease of use and familiarity with the technique. Those who reported to read scientific articles were significantly more likely to be guided by the conclusions of clinical studies, guidelines and books ($p < 0.001$ for all items). Men were more likely to rely upon recommendations from clinical studies and to report the easiness of achievement ($p = 0.006$ and $p = 0.009$, respectively). Besides, men were more likely to be influenced by the affordability of the technique ($p = 0.004$). Treatment decision was mainly oriented by the patient's oral health, the volume of coronal dental substance loss, the patient's general health and his/her age. Women were more likely to report patient's age ($p = 0.002$).

Asymptomatic vital tooth with a DCL

In a scenario of an asymptomatic tooth with a DCL and pulp exposure during carious tissue removal, 93.9% of respondents chose a direct pulp capping. Women were more likely to perform direct pulp capping ($p = 0.03$).

In the same scenario (DCL and pulp exposure during carious tissue removal) with a symptomatic pulp, the most frequent responses were partial pulpotomy (53.9%) followed by endodontic treatment (38.8%). FDSs who read articles reported significantly more often pulpotomy rather than endodontic treatment ($p = 0.001$).

Consistent with this vision of pulpal preservation, about 40% (38.4%) of respondents would perform other less invasive treatments rather than endodontic treatments on a symptomatic tooth with DCL, while 59.8% would perform endodontic treatment. In case of asymptomatic teeth with DCL, only a minority reported endodontic treatment as the first option (1.9%). FDSs who read scientific articles significantly were more likely to choose other therapeutic options to treat a symptomatic tooth rather than endodontic treatment ($p = 0.009$). Male FDSs significantly practiced more often endodontic treatment as first-line treatment for a symptomatic tooth than females who tended to choose other options ($p < 0.001$).

Clinical cases: Pulpal diagnoses and treatment options

In CC 1, reversible pulpitis was the most reported diagnosis. Nearly half of FDSs chose a one-step complete excavation at the expense of other therapeutic options, notably partial excavation (Table 4). FDSs who read articles were more likely to prefer the partial excavation option ($p = 0.02$). In CC 2 dentinal carious lesion was most frequently diagnosed by FDSs (60.9%), while almost all the others (38.6%) agreed with a reversible pulpitis in CC 2. In the same way, most FDSs selected a one-step complete excavation as the best option, while alternatives were

marginally cited. In CC 3, the two thirds diagnosed a reversible pulpitis. FDSs who cited the one-step total excavation or pulpal therapy accounted for 65.4%, while partial or stepwise excavation were less mentioned: 19.2% and 15.6%, respectively. When restricting the analyses to FDSs who rightly diagnosed a reversible pulpitis, these trends were not affected (62.9% for one-step total excavation or pulpal therapy, 19.6% and 17.6% for partial and stepwise excavation, respectively). Women were more likely to choose two-step complete excavation and men one-step complete excavation, with no major differences for other treatment options ($p=0.018$). FDSs who did not read articles tended to choose more often pulpal therapy ($p=0.04$).

Discussion

The present study is the first of its kind and aims at providing an overview of the knowledge and opinions of fifth-year FDSs regarding DCL management. All the 16 French dental universities participated in the present study and a global satisfactory response rate was obtained (84.5%) making the results highly representative of the overall population of fifth-year French FDSs.

MI precepts related to DCL management appeared to be partially integrated by FDSs, both in terms of beliefs and declared behaviors. Satisfactorily, nearly four out of five FDSs agreed with leaving a certain amount of carious lesion near the dental pulp (77.3%) and with the absence of risk of carious lesion development when properly sealed (79.9%). Conversely, about 40% of FDSs believed that all caries tissues needed to be removed (Table 2). The inconsistency of responses between these contradictory statements could reveal a misunderstanding in the formulation of the questions, or more worryingly in the concepts of MI. Besides ignorance or misunderstandings, FDSs non-adherence or mistrust toward the new MI recommendations could account for the common belief that leaving carious tissue is harmful. Former well-rooted beliefs could be hard to shed. The widespread habit of cavity disinfection reported in the study by FDSs (81.7%) reflects the lingering perception of carious lesion as an infection process, as also observed amongst many French and German GDPs (74%) (Table 1).¹⁹

Reversible pulpitis was the expected diagnosis for the three CC. Based on radiographic dentine involvement, expected treatment was selective removal to firm dentin in CC1 and CC2 since carious lesion was limited to the inner third of dentine. Conversely, partial excavation with selective removal to soft dentin was required in CC3, as carious lesion expanded over the inner-third of the dentine.²⁰

Almost all FDSs diagnosed either a dentinal carious lesion or a reversible pulpitis for CC 1 and CC2 (Table 3). While MI approaches would have been recommended in these CCs,¹⁰ more particularly the selective removal to firm dentine,^{1,18} many FDSs would indicate a one-step complete dentinal excavation, 48.3 % for CC1 and 72% for CC 2, respectively. Unfortunately, responses observed for partial dentinal excavation or two-step complete dentinal excavation were respectively provided by less than half of FDSs in both CCs (Table 4). Two thirds of FDSs diagnosed a reversible pulpitis for CC 3, while 12.1% wrongly opted for irreversible pulpitis. As in previous CCs, an evidence-based treatment would have been a selective removal to soft dentine or a stepwise approach given the absence of lingering pain.¹⁸ Regrettably, 65.4% of FDSs still preferred a one-step complete excavation or pulpal therapy. The unchanged conclusions after restricting the analyses to DSs who rightly diagnosed a

reversible pulpitis suggests that a potential difficulty of differential diagnosis between reversible and irreversible pulpitis cannot account for these results. Overall, these results suggest an inadequate assimilation of MI therapeutic options among FDSs for the treatment of DCL or a reluctance to use them. As it was the case for partial dentinal excavation, two-step complete excavation was relatively little selected in the different CCs (Table 4); although these therapeutic approaches are reliable treatments for well-defined deep carious lesions located in the pulpal quarter of the dentine.¹⁰

A majority of FDSs (53.9%) stated hardness of the floor of cavity as a criterion for the endpoint of excavation (40.0% for leathery dentine). This could reflect a reluctance of some FDSs to leave some remineralizable carious tissue near the pulp.¹⁸ Further, noticeable proportions of FDSs relied on pulp colour and moisture (64.2% and 43.3%, respectively), while these latter criteria are not considered as reliable by the International Caries Conference Consensus.¹⁸

Encouragingly, more than half of FDSs reported that their treatment decisions were driven by evidence-based clinical guidelines and studies (Table 3). However, improvements are required. The predominant influence of peer recommendations in the FDSs decision-making process (73.7%) merits interest as it suggests that a word-of-mouth effect could promote the dissemination of MI precepts among them. Patient's oral health was the most cited clinical criterion, as it was the case for dentists in most countries.^{12,21} Another positive finding was the predominant proportion of rubber dam users, suggesting an effective dissemination of this recommendation by curricula (Table 1). Likewise, in case of pulp exposure during carious tissue removal on asymptomatic tooth, direct pulp capping was the most commonly chosen option (93.9%). A similar although lower frequency of use was observed among FGDPs (58%).²¹

A very frequent handling of excavators by FDSs emerged, a similar proportion was observed among Spanish GDPs.⁵

Regrettably, despite their academic training, a minority of FDSs read articles about MI. However, reading articles about MI positively influences both the FDSs beliefs and practices. While reading articles might just indicate more involved students, current findings showed that these FDSs have a better perception of the rationale of MI and were less likely to choose invasive therapeutic options. Consistently, a similar effect of continuous training was observed among Spanish GDPs.⁴

However, some methodological limitations should not be overlooked. The present study was conducted among the 5th-year FDSs while the 6th-year FDSs would have been a more intuitive target for the study population. This choice was motivated by the presence of an internship (similar to vocational training) during the 6th year (final year) of the dental course in France, which would have resulted in a noticeable loss of FDSs upon inclusion of the study. Although we believe that the questionnaire captured the perceived management of deep carious lesions by students about to be graduated and injected in the professional world of dentistry, differences in response patterns between 5th and 6th-year FDSs cannot be formally excluded. FDSs' answers could be mainly influenced by their training and possibly by their current practice. Further, good knowledge of MI and adherence to corresponding behaviors by FDSs may not guarantee an effective use once they will be in their future professional context. Indeed, the lack of current reimbursement of MI in the French health system tends to discourage preventive therapeutic behaviors⁹ and FGDPs may prioritize financial criteria. Only a global analysis was conducted because the objective of the study was not to make any comparisons between the different French universities. Finally, the question on reading scientific article was purely declarative and was not based on any defined criteria. FDSs who opted for a more aggressive therapy were more inclined to believe in the detrimental effect of leaving soft dentine under a filling. MI therapeutic options related to pulpal diagnosis might not always be successful in the long-term because restorative treatment must be nuanced according to the loss of substance. Hence, monitoring the long-term success of MI treatments should be desirable in such cases.

The present data have implications. FDSs are the future practitioners and their appropriation of MI concepts for caries treatment is critical to promote any subsequent change in daily dental practice. Improving FDSs knowledge and behaviors with respect to MI requires a reinforcement of their training on this topic, in order to better adhere to recent courses in cariology^{2,3,17} and to the consensus for cavitated caries lesions¹⁸. Further, harmonization of training on MI is desirable between the different French Universities for greater efficiency.^{15,23} In addition, French dental curricula should devote more time to the reading of scientific articles and recent evidence-based documents. A study would also be helpful to assess potential changes once improvements in FDSs training have been made.¹⁶

This study highlighted the need to improve the sensitization of FDSs about MI in the curricula, particularly for DCL management. Nevertheless, some changes are also needed in the French health care system. Health authorities should support MI to promote its use, especially since this could lead to a drop in the cost of care.

National guidelines regarding MI are still missing and could encourage wider use of MI in dental practice. A reform of dental care is underway in France toward better reimbursement of restorative therapeutic approaches. This trend could allow to be optimistic about a future integration of MI in the health insurance coverage of dental care in France.

Table 1. Criteria and methods used for carious tissue removal in deep lesions

<i>Category</i>	<i>Criterion /method</i>	<i>Percentage of respondents</i>
Criteria you routinely rely on to confirm satisfactory removal of caries in DCL		
Hardness (n=1138)		
	Soft	4.4% (n=50)
	Leathery	40.0% (n=456)
	Hard	53.9% (n=613)
	Not relevant	1.7% (n=19)
Colour (n=1141)		
	Heavily-stained	10.7% (n=122)
	Normal to yellow	53.5% (n=610)
	Not relevant	35.8% (n=409)
Moisture (n=1132)		
	Wet	1.6% (n=18)
	Moist	12.6% (n=143)
	Dry	29.1% (n=642)
	Not relevant	56.7% (n=642)
Excavation method		
n=935	Diamond bur	24.1% (n=225)
n=1,062	Metal bur	85.2% (n=905)
n=917	Ceramic bur	28.7% (n=263)
n=864	Hand excavator	88.7% (n=959)
n=863	Chemo-mechanical	7.5% (n=65)
n=1135	Rubber dam	96.2% (n=1,092)
n=1116	Cavity disinfection	81.7% (n=912)
n=1052	Dye solution	10.8% (n=114)

Table 2: FDSs' attitude toward leaving carious dentine under a restoration^(a)

	Disagreement	Neutral	Agreement
Cariogenic microorganisms need to be completely removed, as caries might progress otherwise. (n=1142)	58.2% (n=665)	2.5% (n=29)	39.2% (n=448)
A certain amount of cariogenic microorganisms can be left behind, as intact restorations can seal and thus stop caries. (n=1144)	16.0% (n=183)	4.1% (n=47)	79.9% (n=914)
Caries must always be completely removed, as residual caries is a risk for the vitality of the pulp. (n=1142)	54.9% (n=627)	3.2% (n=37)	41.9% (n=478)
Caries near the pulp should be left to avoid pulp exposure. (n=1143)	17.9% (n=205)	4.7% (n=54)	77.3% (n=884)

^(a)Not all participants answered to the question

Table 3: FDSs' reasons guiding different therapeutic options and treatment decisions

category	Reason	Percentage of respondents
Main reasons guiding therapeutic options	Recommended by peers	73.7% (n=851)
	Good results	70.6% (n=816)
	Recommended by clinical studies	59.1% (n=683)
	Recommended by clinical guidelines	52.4% (n=605)
		54.2% (n=626)
	Recommended in books	33% (n=381)
	Not an expensive technique	8% (n=92)
Main factors influencing treatment decision	Patient's oral health (particularly carious risk)	85.5% (n=988)
	Importance of coronal loss	78.2% (n=904)
	Patient's general health	62.5% (n=722)
	Patient's age	59.3% (n= 686)
	Patient's attitude and concern	55.1% (n=637)
	Type of tooth	52.5% (n=607)
	Tooth already restored	49.8% (n=576)
Amount of time necessary for the global treatment	16.5% (n=191)	

Table 4. FDSs' reported diagnoses and treatments for three clinical cases (CC)

<i>Diagnosis and therapeutic for three CCs</i>				
		<i>CC 1</i>	<i>CC 2</i>	<i>CC 3</i>
Diagnosis ^(a)	Dentinal carious lesion	18.6% (n=210)	60.9% (n=688)	21.9% (n=245)
	Reversible pulpitis	79.7% (n=897)	38.6% (n=436)	66% (n=739)
	Irreversible pulpitis	1.7% (n=19)	0.5% (n=6)	12.1% (n=135)
treatment ^(a)	Complete dentinal excavation in one step	48.3% (n=544)	72% (n=816)	24.5% (n=277)
	Complete dentinal excavation in two steps	20.9% (n=235)	9.9% (n=112)	15% (n=170)
	Partial dentinal excavation	25.1% (n=282)	15.5% (n=176)	19.6% (n=221)
	Pulpotomy	3.7% (n=42)	2.1% (n=24)	23.6% (n=267)
	Endodontic treatment	2% (n=22)	0.5% (n=6)	17.3% (n=195)

^(a) A unique answer was expected

Acknowledgements

The authors thank:

- Pr Maxime Beaurain for implementing the study in Lille Dental University
- Pr Bruno Pelissier for implementing the study in Montpellier Dental University
- Mrs Laura Dupont-Butez for her help in data collection and entry.
- The students who participated to the study

Disclosure statement: The authors have no conflicts of interest to declare.

Informed consent: Not applicable

Statement of Ethic: As the questionnaire only concerned the learning outcomes by students, no approval of ethical committees was required according to the French regulation. Thus, the present study was out of the scope of the Helsinki Declaration and no consent from Students was needed.

Funding: Printing and postal fees were sponsored by Colgate® France. There was no funding with regard to the implementation of the design of the study, data collection, analysis, interpretation of data and writing the manuscript

Authors' Contributions: MAG, LL, DS made a synthesis of the results and wrote the manuscript. SD critically reviewed the manuscript and made suggestions. Other co-authors collected and captured the data in their respective Dental Faculties. All authors have read and approved the manuscript.

Abbreviations

- DCL: Deep carious lesion
- FDSs: French Dental Students
- FGDPs: French General Dental Practitioners
- GDPs: General Dental Practitioners

- MI: Minimal intervention

References

1. Barros MMAF, De Queiroz Rodrigues MI, Muniz FWMG, Rodrigues LKA. Selective, stepwise, or nonselective removal of carious tissue: which technique offers lower risk for the treatment of dental caries in permanent teeth? A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig* 2019 Nov 26. doi: 10.1007/s00784-019-03114-5.
2. Bottenberg P, Ricketts DNJ, Van Loveren C, Rahiotis C, Schulte AG. Decision-making and preventive non-surgical therapy in the context of a European Core Curriculum in Cariology. *Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur* 2011; 15 Suppl 1: 32–9.
3. Buchalla W, Wiegand A, Hall A. Decision-making and treatment with respect to surgical intervention in the context of a European Core Curriculum in Cariology. *Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur* 2011; 15 Suppl 1: 40–4.
4. Crespo-Gallardo I, Martín-González J, Jiménez-Sánchez MC, Cabanillas-Balsera D, Sánchez-Domínguez B, Segura-Egea JJ. Dentist's knowledge, attitudes and determining factors of the conservative approach in teeth with reversible pulpitis and deep caries lesions. *J Clin Exp Dent* 2018; 10: e1205–15.
5. Crespo-Gallardo I, Hay-Levytska O, Martín-González J, Jiménez-Sánchez M-C, Sánchez-Domínguez B, Segura-Egea JJ. Criteria and treatment decisions in the management of deep caries lesions: Is there endodontic overtreatment? *J Clin Exp Dent* 2018; 10: e751–60.
6. Doméjean S, Grosogeat B. Evidence-Based Deep Carious Lesion Management: From Concept to Application in Everyday Clinical Practice. *Caries Excav Evol Treat Cavitated Carious Lesions* 2018; 27: 137–45.

7. Doméjean S, Léger S, Maltrait M, Espelid I, Tveit AB, Tubert-Jeannin S. Changes in Occlusal Caries Lesion Management in France from 2002 to 2012: A Persistent Gap between Evidence and Clinical Practice. *Caries Res* 2015; 49: 408–16
8. Doméjean S, Léger S, Simon A, Boucharel N, Holmgren C. Knowledge, opinions and practices of French general practitioners in the assessment of caries risk: results of a national survey. *Clin Oral Investig* 2017; 21: 653–63.
9. Doméjean-Orliaguet S, Léger S, Auclair C, Gerbaud L, Tubert-Jeannin S. Caries management decision: Influence of dentist and patient factors in the provision of dental services. *J Dent* 2009; 37: 827–34.
10. Duncan HF, Bjørndal L, van der Sluis L, Rechenberg DK, Simon S, Cooper PR, Ricucci D, Galler K. Third European Society of Endodontology (ESE) research meeting: ACTA, Amsterdam, The Netherlands, 26th October 2018: Deep caries and the exposed pulp: current and emerging therapeutic perspectives. *Int Endod J* 2019; 52: 135–8.
11. Hélie B, Holmgren C, Gaillot L, Domejean S. Scellements préventifs et thérapeutiques : Connaissances et pratiques des omnipraticiens français. *Inf Dent* 2016; 37: 20–20.
12. Koopaei MM, Inglehart MR, McDonald N, Fontana M. General dentists', pediatric dentists', and endodontists' diagnostic assessment and treatment strategies for deep carious lesions: A comparative analysis. *J Am Dent Assoc* 1939 2017; 148: 64–74.
13. Le Clerc J, Gasqui M-A, Lafortest L, Beaurain M, Ceinos R, Chemla F, Chevalier V, Colon P, Fioretti F, Gevrey A, Kérourédan O, Maret D, Mocquot C, Özcan C, Pelissier B, Pérez F, Terrer E, Turpin Y-L, Arbab-Chirani R, Seux D, Doméjean S. Knowledge and opinions of French dental students related to caries risk assessment and dental sealants (preventive and therapeutic). *Odontology* 2020 May 29. doi: 10.1007/s10266-020-00527-7.

14. Martignon S, Pitts NB, Goffin G, Mazevet M, Douglas GVA, Newton JT, Twetman S, Deery C, Doméjean S, Jablonski-Momeni A, Banerjee A, Kolker J, Ricketts D, Santamaria RM. CariesCare practice guide: consensus on evidence into practice.Br Dent J 2019; 227: 353–62.
15. McGlone P, Watt R, Sheiham A. Evidence-based dentistry: an overview of the challenges in changing professional practice.Br Dent J 2001; 190: 636–9.
16. Meyer-Lueckel H, Opdam NJM, Breschi L, Buchalla W, Ceballos L, Doméjean S, Federlin M, Field J, Gurgan S, Hayashi M, Laegreid T, Loomans BAC, Lussi A, Lynch CD, Pallesen U, Peumans M, Toth Z, Wilson NHF. EFCD Curriculum for undergraduate students in Integrated Conservative Oral Healthcare (ConsCare).Clin Oral Investig 2019; 23: 3661–70.
17. Schulte AG, Pitts NB, Huysmans MCDNJM, Splieth C, Buchalla W. European Core Curriculum in Cariology for undergraduate dental students.Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur 2011; 15 Suppl 1: 9–17.
18. Schwendicke F, Frencken JE, Bjørndal L, Maltz M, Manton DJ, Ricketts D, Van Landuyt K, Banerjee A, Campus G, Doméjean S, Fontana M, Leal S, Lo E, Machiulskiene V, Schulte A, Splieth C, Zandona AF, Innes NPT. Managing Carious Lesions: Consensus Recommendations on Carious Tissue Removal.Adv Dent Res 2016; 28: 58–67.
19. Schwendicke F, Stangvaltaite L, Holmgren C, Maltz M, Finet M, Elhennawy K, Eriksen I, Kuzmiszyn TC, Kerosuo E, Doméjean S. Dentists' attitudes and behaviour regarding deep carious lesion management: a multi-national survey.Clin Oral Investig 2017; 21: 191–8.
20. Schwendicke F, Splieth C, Breschi L, Banerjee A, Fontana M, Paris S, Burrow MF, Crombie F, Page LF, Gatón-Hernández P, Giacaman R, Gugnani N, Hickel R, Jordan RA, Leal S, Lo E, Tassery H, Thomson WM, Manton DJ. When to intervene in the caries process? An expert Delphi consensus statement.Clin Oral Investig 2019; 23: 3691–703.

21. Stangvaltaite L, Schwendicke F, Holmgren C, Finet M, Maltz M, Elhennawy K, Kerosuo E, Doméjean S. Management of pulps exposed during carious tissue removal in adults: a multi-national questionnaire-based survey. *Clin Oral Investig* 2017; 21: 2303–9.
22. Tubert-Jeannin S, Doméjean-Orliaguet S, Riordan PJ, Espelid I, Tveit AB. Restorative treatment strategies reported by French university teachers. *J Dent Educ* 2004; 68: 1096–103.
23. Watt R, McGlone P, Evans D, Boulton S, Jacobs J, Graham S, Appleton T, Perry S, Sheiham A. The facilitating factors and barriers influencing change in dental practice in a sample of English general dental practitioners. *Br Dent J* 2004; 197: 485–9; discussion 475.
24. Weber CM, Alves LS, Maltz M. Treatment decisions for deep carious lesions in the Public Health Service in Southern Brazil. *J Public Health Dent* 2011; 71: 265–70.



Place of a new radiological index in predicting pulp exposure before intervention for deep carious lesions

Marie-Agnès Gasqui^{1,2,3} · Matthieu Pérard^{4,5,6} · Franck Decup^{7,8,9} · Paul Monsarrat^{10,11,12} · Yann-Loïc Turpin^{4,6} · Cyril Villat^{1,2,3} · François Gueyffier^{13,14,15} · Delphine Maucort-Boulch^{13,14,16} · Laurent Roche^{13,14,16} · Brigitte Grosogeat^{1,2,3}

Received: 10 December 2020 / Accepted: 16 April 2021

© The Author(s), under exclusive licence to Japanese Society for Oral and Maxillofacial Radiology and Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2021

Abstract

Background During interventions for deep caries lesions without severe symptoms, preserving pulpal vitality is important to ensure treatment success, improve organ prognosis, and decrease cost-effectiveness. Current pre-operative radiographs allow visual estimation but not accurate measurement of lesion depth.

Purpose Investigate the ability of ratio ‘remaining/total dentin thickness’ (RDT/TDT, as determined on pre-operative radiographs) to predict pulp exposure during excavation.

Methods This retrospective study (January 2018–June 2020) analyzed data on 360 patients. Four independent raters examined standard pre-operative radiographs and their contrasted versions. Lines put at the dentino-enamel junction, the floor of the carious lesion, and the pulp chamber wall allowed deriving RDT/TDT. Inter-rater agreements and concordance were assessed. A logistic regression accounting for measurement errors provided odds ratios that estimated the ability of the RDT/TDT to predict pulp exposure.

Results The median RDT/TDT ratio ranges were 16.8–26.5% on standard and 16.2–24.6% on contrasted radiographs. Inter-rater agreements on RDT/TDT were rather poor and inter-rater reliability was low and similar in standard and contrasted radiographs: the concordance correlation coefficients (95% CIs) were estimated at 0.46 (0.40; 0.51) and 0.46 (0.40; 0.52), respectively. The risk of pulp exposure increased by 2.5 times [odds ratio (95% CI) 2.57 (2.06; 3.20)] per 10-point decrease of the ratio on standard radiographs vs. 4.15 (3.15; 5.46) on contrasted radiographs.

Conclusion RDT/TDT ratio is potentially helpful in predicting pulp exposure. However, the measurement errors on RDT and TDT being non-negligible and the interrater agreements poor, there is still place for advances through development of an automated process that will improve reliability and reproducibility of pulp exposure risk assessment.

Clinical trial Trial registration number. ClinicalTrials.gov NCT04607395, October 29, 2020

Keywords Radiography dental · Dental pulp exposure · Measurement accuracy · Observer variation · Radiographic image enhancement

Abbreviations

CCC	Concordance correlation coefficient
CI	Confidence interval
DCL	Deep carious lesion
IQR	Interquartile range
RDT	Remaining dentin thickness
TDT	Total dentin thickness

Introduction

In 2019, untreated caries in permanent teeth was the most prevalent health condition; it affected 35% of the world population and the global burden of untreated caries has remained relatively unchanged over the past 30 years [1, 2].

Improving the predictability of the risks associated with the management of deep carious lesions (DCL) (pulp exposure, pulpal complications, substance loss and unsuccessful, invasive and expensive outcomes) should help providing less harmful treatments as quaternary prevention [3].

A recent review and a randomized trial have reported that complete excavation is no longer the gold standard and that

✉ Brigitte Grosogeat
brigitte.grosogeat@univ-lyon1.fr

Extended author information available on the last page of the article

selective removal reduces the risk of pulp exposure [4, 5]. In strict conditions, an exposed pulp may be ‘saved’ by capping, but the success ranges between 32 and 90% depending on the procedure [6]. This uncertainty and the high cost-effectiveness of treatment after loss of pulp vitality have led to seek minimally invasive approaches [7].

Caries lesion detection should assess the size, the depth and the presence of cavitation. Visual–tactile examination are still used for lesion detection and assessment of surface integrity and lesion activity [8, 9]. Visual examination has a high specificity (high proportion of normal sites correctly identified) but a low sensitivity (low proportion of carious sites correctly identified). Thus, visual examination would miss nearly 70% of proximal cavitated caries lesions [8].

Bitewing radiograph is now routinely performed to increase caries detection because intra-oral radiography is more sensitive than visual examination for detection of approximal and occlusal dentin lesions, estimation of lesion depth and monitoring lesion behaviour. According to Wenzel [10], bitewing radiographs have 0.5–0.7 sensitivity and circa 0.9 specificity in detecting approximal and occlusal carious lesions, but could these radiographs be used for accurate assessment of carious lesion depth and the risk of pulp exposure? If so, these radiographs should help planning more efficient and less costly treatments. Interproximal and occlusal carious lesions need a radiographic complementary examination for full assessment (extent of the lesion), whereas buccal and lingual are often visually accessible. Moreover, these lesions require cavitation assessment, that is mandatory to intervene for a surgical treatment of the carious lesion [11].

A consensus document has recently defined deep lesion as radiographic evidence of caries reaching the inner third or quarter of dentin [12]. This corresponds to lesions whose ratio Remaining Dentin Thickness to Total Dentin Thickness (RDT/TDT) is < 33% or 25%. However, this ratio has never been used to quantify lesion depth, guide excavation needs and help saving dental pulp.

The present study investigated the relationship between RDT/TDT (as obtained from pre-operative retro-alveolar standard radiographs) and the risk of pulp exposure and the ability of contrasted radiographs to improve prediction of pulp exposure.

Materials and methods

The data for this study were extracted from DECAT study database [5], (NTC 02286388). Briefly, DECAT was a randomized controlled study that compared partial vs. complete caries removal for the treatment of DCLs of permanent teeth. It included 470 patients from 15 centres.

This study has obtained favourable ethics committee approval (Comité Scientifique et éthique des Hospices Civils de Lyon). It is also in accordance with the regulations on health data (MR004 conformity: 20_186) and is registered in ClinicalTrials.gov (Identifier: NCT04607395, October 29, 2020).

Data collection

Standard pre-operative retro-alveolar and bitewing radiographs were extracted from DECAT database. Three X-rays were needed for inclusion, a pre-operative retro-alveolar and bitewing radiographs completed by a post-operative bitewing radiograph. Each centre used its own radiographic equipment and routine radiographic procedures (Supplemental Table 4). Each investigator set their generator according to the manufacturer’s recommendations, type of tooth and patient’s stature; all investigators had to use a dental X-ray film holder (paralleling technique). The radiographs were developed with a resolution ranging from 500 to 2000 dpi, 8 bits/pixel and stored as JPEG files. Files from the different centres were then anonymized and pooled. The exclusion criteria from the radiographic database are detailed in Fig. 1.

Data preparation

In a first step, a contrasted version of each 8-bit radiograph was obtained by adjusting the brightness and the contrast with ImageJ© (version 1.51a, Wayne Rasband, National Institute of Health, USA). The contrast was adjusted by re-scaling the grey dynamics within the range present in the

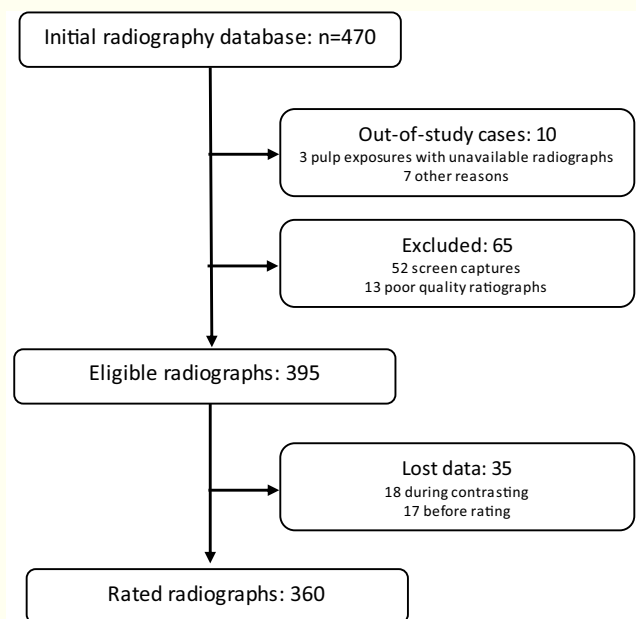


Fig. 1 Flowchart of the study population

initial acquisition (according to the minimum–maximum of the distribution histogram). The white balance was defined as the lighter shade of grey from the considered tooth and the black balance was defined as the darkest shade of grey of the considered tooth. In this manner, the levels of grey on the tooth of interest ranged over the entire spectrum visible to the eye.

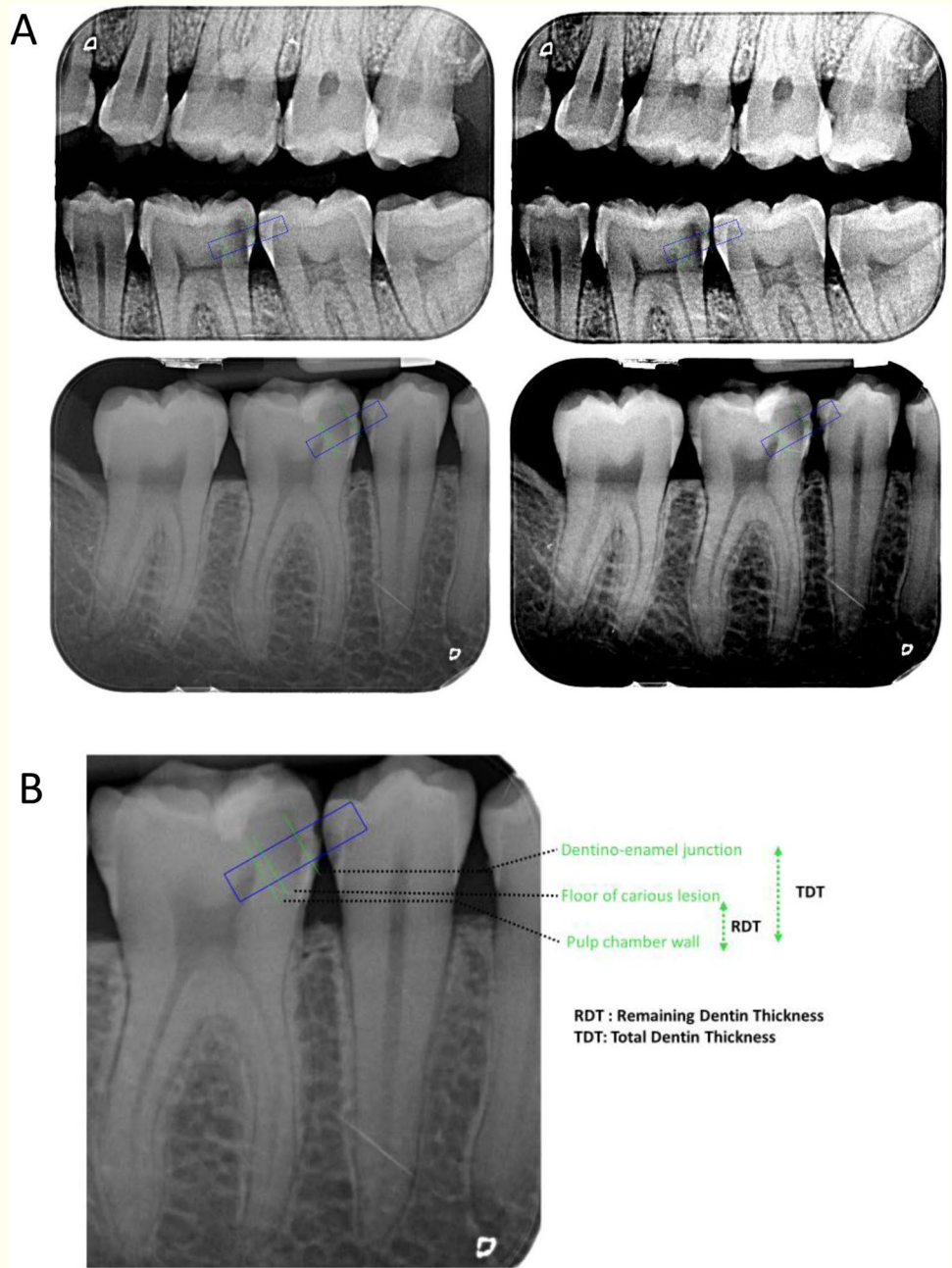
In a second step, two dental surgeons (none a future rater) superimposed two layers on each radiograph using Gimp© (version 2.10.8 GNU Image Manipulation Program). On the first layer, a frame was positioned in the axis of the carious lesion and this layer was locked. On the other layer, three

lines were added perpendicularly to the frame so that the raters could move them along the frame to adequate positions detailed in the following section (blue frame and green lines in Fig. 2a).

Radiographic assessment

This assessment consisted in determining the depth of each carious lesion on the pre-operative standard radiographs and on their contrasted versions. A panel of four raters with different experiences assessed the radiograph pairs (university

Fig. 2 Examples of pre-operative radiographs. **a** left column: standard radiographs; right column: corresponding contrasted radiographs using with ImageJ©. **b** the blue frame shows a pre-positioned corridor in the axis of the carious lesion; three green lines were first randomly pre-positioned using Gimp© and then moved within the blue corridor by each rater to delimit the dentino–enamel junction, the floor of the carious lesions and the pulp chamber wall



professor and hospital practitioners FD, Paris; PM, Toulouse; YLT, Rennes; and CV, Lyon).

Each rater had to place a first line tangentially to the deepest part of the lesion, a second line tangentially to the enamel-dentin junction opposite to the pulp and a third line tangentially to the pulp chamber wall (Fig. 2b). This provided distances between the dental pulp and: (i) the original or Total Dentin Thickness (TDT); and, (ii) the Remaining Dentin Thickness (RDT).

Seven days before the rating session, the raters were briefed during a videoconference and trained on 20 radiographs of DCLs external to the database. Later, all raters performed the ratings in the same university lab on identical computers (Dell W03c) and screens (liquid crystal display monitors with 768 × 1367 resolution). The radiographs were rated in four different random orders. Each rater had three sessions of 6 h to comment on all radiographs. He/she could consider a radiograph as non-interpretable or move the three lines within the pre-positioned frame to measure TDT and RDT and calculate ratio $RDT/TDT \times 100$.

Statistical analysis

Inter-rater agreement and reliability analyses were separately performed on standard and contrasted radiographs. The inter-rater agreements used Bland–Altman methodology [13] for each of the six pairs of raters. Inter-rater reliability used a unified model with a ‘proportional error structure’ as described by Lin et al. [14] and implemented in R package Agreement [15]. The Concordance Correlation Coefficient (CCC) was used to assess the overall reliability among the four raters. The CCC ranges from 0 to 1 and is the product of two components that also range from 0 to 1: (i) accuracy (or how close are the means of RDT/TDT ratios between raters); and, (ii) precision (or degree of scatter between rater measurements of all ratios). The 95% CIs of the CCC, accuracy and precision were obtained by computing the 2.5th and 97.5th percentiles from 1000 bootstrap samples.

For intra-rater reproducibility, a set of 30 radiographs were measured independently by each of the four raters. One month later, each rater measured again the same set of radiographs randomly shuffled, blinded from the first measurements. The intra-rater reliability coefficient with random effect was then computed using ‘irr’ package version 0.84.1 with R 3.5.2.

To assess the relationship between RDT/TDT and the risk of pulp exposure, odds ratios were estimated per 10-point decrease in RDT/TDT. Here, an odd corresponded to the number of pulp exposures divided by the number of pulp preservations and may be viewed as a measure of the risk of pulp exposure. First, as preliminary analyses, logistic regressions were separately performed by radiograph type and rater to estimate rater-specific odds ratios. Second, as main

analysis, one model per radiograph type was considered to assess the overall predictive ability of RDT/TDT regarding pulp exposure risk. This model incorporated jointly all available measurements made by each rater. This analysis was also motivated by the need take into account the errors made in measuring RDT and TDT. Briefly, a structural model with additive and non-differential measurement errors was considered [16]. This model was divided into two sub-models: a measurement sub-model and a structural sub-model (Fig. 3). The measurement sub-model aimed at estimating the distributions of the errors (ε_i) and of the latent (unobservable) RDT/TDT that would be obtained if no measurement errors were made. Errors ε_i and latent RDT/TDT were modelled using a multivariate skewed *t* distribution with skewness parameters for latent RDT/TDT and ε_i [17]. The structural sub-model consisted in a logistic regression that evaluated the relationship between latent RDT/TDT and pulp exposure risk. The parameters of both sub-models (with their 95% confidence intervals, CIs) were estimated by maximizing the full likelihood (For further details about the main analysis, see Online Appendix). All analyses were performed with R software version 3.6.1 [18].

Results

Patient and teeth characteristics

From the 470 participants in DECAT study, 110 were excluded for: (i) pulp exposure and no pre-operative radiograph available; (ii) poor quality radiographs, screen captures or lesions not assessable on radiographs; (iii) data loss during contrasting; or, (iv) data loss during layer pre-positioning (Fig. 1). Thus, 360 cases were kept for analysis (182 females). Patients and teeth characteristics are shown in Table 1. The median age and first–third quartile were 26 (21–37) years. Two out of three teeth were molars. The carious lesions were mainly primary (72%) and occluso-proximal (54%). Pulp exposure occurred in 25 out of 360 teeth (7%).

RDT/TDT ratio values

Summaries of RDT, TDT and RDT/TDT values obtained by each rater are given in Table 2. Depending on the rater, three to six standard radiographs and three to five contrasted radiographs were considered as non-interpretable by each one. Nevertheless, all 360 teeth were assessed at least once by one of the raters. The median RDT/TDT ratio ranged from 16.8 to 26.5% on standard radiographs and from 16.2 to 24.6% on contrasted radiographs. The dispersion of RDT/TDT ratios was wider for Rater 4 vs. the others. For example, the interquartile range of RDT/TDT on standard radiographs

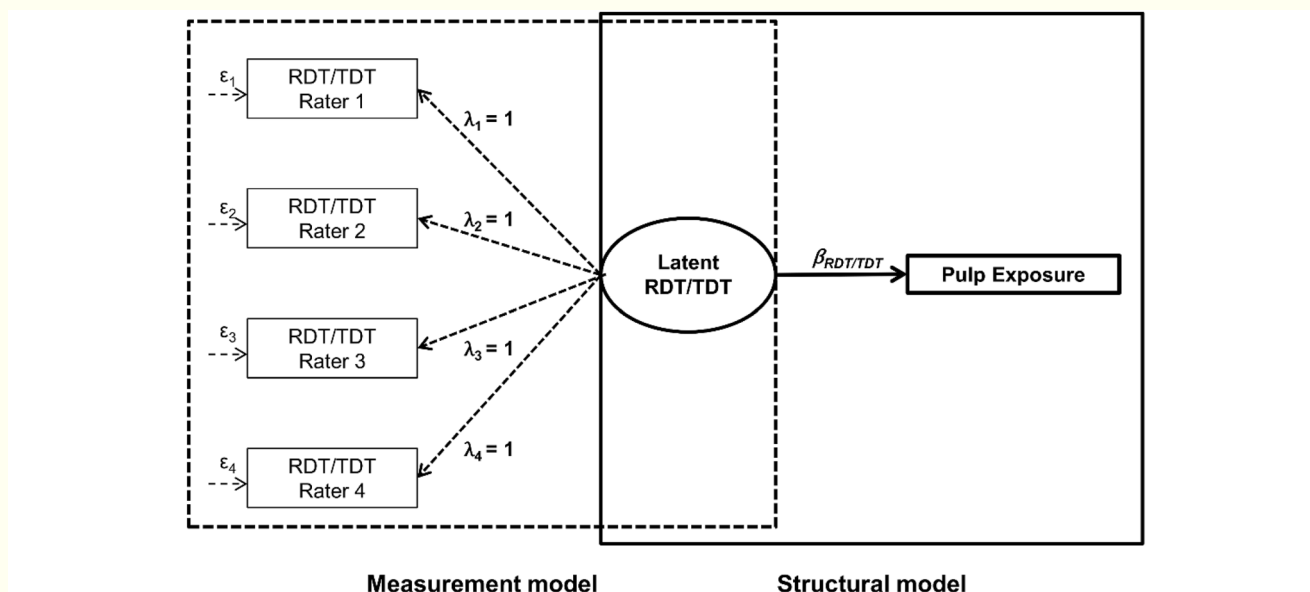


Fig. 3 Schematic representation of the main analysis that included all available RDT/TDT measurements and took into account measurement errors. The measurement sub-model (dashed box) accounted for the error made in measuring RDT/TDT by introducing a ‘latent’ variable called Latent RDT/TDT (ellipse). This latent RDT/TDT cannot be directly observed but is measured by each rater i with an error

term ε_i (dashed arrow). The structural model (solid box) quantified the relationship between the latent RDT/TDT variable and the risk of pulp exposure. This structural model consisted in a classical logistic regression where parameter $\beta_{RDT/TDT}$ corresponded to the logarithm of the odds ratio of latent RDT/TDT variable

Table 1 Patients’ and teeth characteristics

Characteristics	Study population ($n=360$)
Age*	26 (21–37)
Sex	
Males	178 (49%)
Females	182 (51%)
Type of tooth	
Molar	240 (67%)
Premolar	120 (33%)
Type of carious lesion	
Primary	259 (72%)
Secondary	101 (28%)
Location of the carious lesion	
Occlusal	80 (22%)
Occluso-proximal	194 (54%)
Proximal	70 (19%)
Other	16 (4%)
Pulpal retraction	
Yes	152 (42%)
No	208 (58%)
Pulp exposure	
Yes	25 (7%)
No	335 (93%)

Unless otherwise indicated, the data are numerator (percentages)

*The data are median (first and third quartiles)

was 17.2–40.4% for Rater 4 but 12.2–23.7% for Rater 2. The mean and 95% CIs of differences (contrasted RDT/TDT – standard RDT/TDT) were -1 ($-1.8; -0.1$), -1.3 ($-2.3; -0.3$), -0.2 ($-1.2; 0.8$) and -2.4 ($-3.6; -1.3$) for Raters 1 to 4, respectively. None of the five variables of interest (age, type of carious lesion, type of tooth, location of the carious lesion and pulpal retraction) was found associated with the RDT/TDT ratio (Supplemental Figs. 5 and 6).

Inter-rater agreement and reliability

Bland–Altman analyses showed poor inter-rater agreements regarding RDT/TDT either on standard or contrasted radiographs (Supplemental Table 5). The inter-rater reliability was also low and nearly the same in standard and contrasted radiographs: the CCC (95% CI) was estimated at 0.46 (0.40; 0.51) with standard radiographs and 0.46 (0.40; 0.52) with contrasted radiographs. The corresponding estimates of inter-rater accuracy were 0.93 (0.89; 0.95) and 0.94 (0.90; 0.96) and estimates of inter-rater precision 0.49 (0.44; 0.55) and 0.49 (0.43; 0.56). These results indicate that the lack of inter-rater reliability was mainly due to lack of precision rather than accuracy.

Table 2 Remaining Dentin Thickness (RDT), Total Dentin Thickness (TDT) and ratio RDT/TDT obtained by the four raters with standard and contrasted radiographs

Parameter	Rater 1	Rater 2	Rater 3	Rater 4
Nb. of measurements				
Standard	356	356	357	354
Contrasted	356	357	357	355
RDT (in pixels)				
Standard	28 (19–41)	20 (13–31)	25 (17–37)	33 (21–55)
Contrasted	26 (18–37)	18 (13–28)	24 (16–36)	29 (18–52)
TDT (in pixels)				
Standard	150 (109–186)	129 (98–169)	136 (102–171)	137 (99–169)
Contrasted	144 (109–184)	126 (92–164)	129 (102–170)	131 (94–168)
Ratio RDT/TDT (%)				
Standard	20.1 (15.8–26.6)	16.8 (12.2–23.7)	20.2 (14.7–26.2)	26.5 (17.2–40.4)
Contrasted	19.3 (14.9–25)	16.2 (11.4–21.6)	19.8 (13.5–26)	24.6 (16.2–35.9)

Unless otherwise indicated, data are median (first and third quartiles)

Intra-rater agreement

Intra-rater reliability coefficients were as follows: global value, respectively, rater 1 to 4.

Intra-rater reliability coefficient for RDT: 0.86, 0.83, 0.98, 0.81, 0.82.

Intra-rater reliability coefficient for TDT: 0.93, 0.94, 0.99, 0.82, 0.98.

Intra-rater reliability coefficient for ratio: 0.80, 0.77, 0.96, 0.79, 0.72.

Relationship between RDT/TDT and the risk of pulp exposure

Figure 4 shows the distributions of RDT/TDT ratios by rater and type of radiograph as estimated non-parametrically (kernel estimation) or by the main model that accounts for measurement errors. The estimates of the main model were rather close to the non-parametric estimates and the fit of the main model to the data was thus deemed satisfactory.

Table 3 shows the estimates of the odds ratios per 10-point decrease in RDT/TDT. In the preliminary analyses, the estimates ranged from 1.38 (Raters 3 and 4) to 1.93 (Rater 1) with standard radiographs and from 1.57 (Rater 2) to 2.24 (Rater 3) with contrasted radiographs. This indicated that the risk of pulp exposure would be multiplied by a factor ranging from 1.38 to 2.24 each time the RDT/TDT would decrease by 10 points. However, the precision of these estimates was low (wide CIs) because of the small number of pulp exposures that

actually occurred ($n=25$). The main analysis that included all rater measurements and accounted for measurement errors yielded odds ratio estimates of 2.57 (2.06; 3.20) with standard radiographs vs. 4.15 (3.15; 5.46) with contrasted radiographs (p values 0.029 and 0.008, respectively).

Discussion

Assessing the risk of pulp exposure is essential to plan an efficient therapeutic management of DCLs. This study showed a significant relationship between ratio RDT/TDT and the risk of pulp exposure. Precisely, considering ‘latent RDT/TDT’ and no measurement errors, the odds ratio of exposure for each 10-point decrease in RDT/TDT was estimated at 2.57 (2.06; 3.20) with standard radiographs and 4.15 (3.15; 5.46) with contrasted radiographs (p values 0.029 and 0.008, respectively). However, the estimates of rater-specific odds ratios were low to moderate and the precision of these estimates was poor. These results suggest two conclusions: (i) the use of RDT/TDT ratio on pre-operative radiographs is potentially a valuable tool to predict pulp exposure; and, (ii) the precision and accuracy of RDT and TDT measurements should be improved before being reliably used to calculate RDT/TDT, derive an accurate risk assessment and choose accordingly the most adequate treatment.

The present work showed poor inter-rater agreement and reliability (CCC 0.46) due mainly to a lack of precision. This is in line with review findings by Wenzel

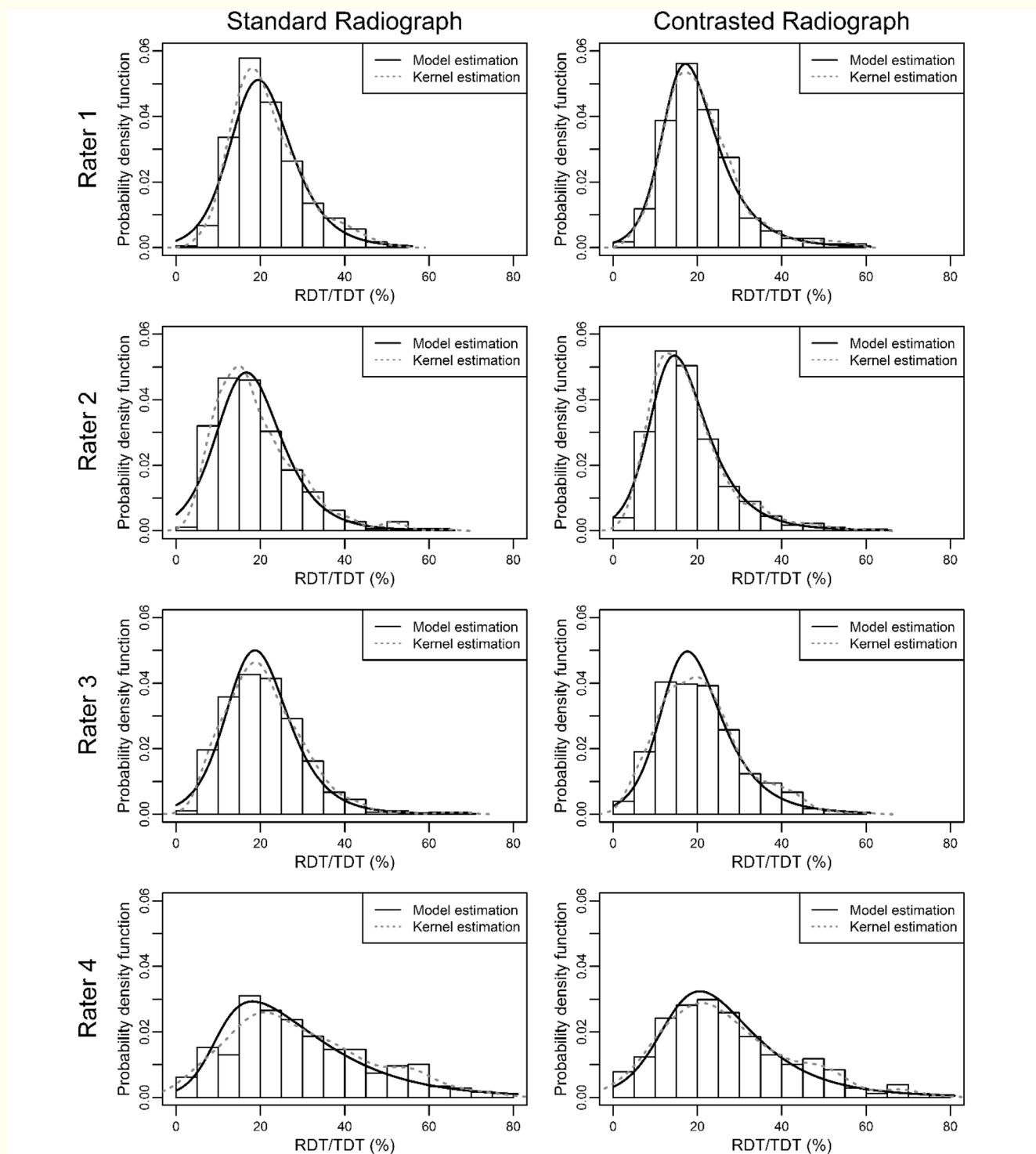


Fig. 4 Distribution of ratio Remaining Dentin Thickness/Total Dentin Thickness (RDT/TDT) per rater (rows) and type of radiograph (columns). The solid lines correspond to the probability density function as estimated by the main model. The histograms and the kernel den-

sity estimations (grey dashed lines) were used to obtain non-parametric estimates of the probability density function and assess the quality of fit of the model to the data

[10] and Schwendicke [19] who reported large variations in performance (poor sensitivity) between examiners in detecting DCLs on radiographs and concluded that

visual assessment of radiographs is largely subjective and requires a certain level of expertise. The low inter-rater agreements seen here suggested that the errors made in

Table 3 Rater-specific (preliminary analyses) and overall ability (main analysis) of ratio Remaining Dentin Thickness/Total Dentin Thickness (RDT/TDT, expressed in %) to predict pulp exposure on standard and contrasted radiographs

Analysis and rater	Odds ratio per 10-point decrease in RDT/TDT ratio	
	Standard radiographs	Contrasted radiographs
Preliminary analyses		
Rater 1	1.93 (1.10; 3.67)	1.86 (1.07; 3.51)
Rater 2	1.39 (0.88; 2.37)	1.57 (0.94; 2.90)
Rater 3	1.38 (0.87; 2.31)	2.24 (1.34; 3.98)
Rater 4	1.38 (1.04; 1.89)	1.65 (1.19; 2.41)
Main analysis with all raters	2.57 (2.06; 3.20)	4.15 (3.15; 5.46)

The results are expressed as odds ratio per 10-point decrease in RDT/TDT. The data in parentheses are 95% confidence intervals

measuring RDT and TDT may be large. This led to a modelling approach that had to take into account these measurement errors because, when disregarded, these errors induce bias in parameter estimation (called ‘regression dilution’ or ‘attenuation’ in linear models) and loss of power [16]. Interestingly, rater-specific analyses yielded odds ratios all much lower than the overall odds ratio obtained by with main analysis. This might look surprising but it illustrates the bias issue.

The measurement of RDT alone on radiographs with direct digital measurement is known to be unreliable; studies have already reported overestimations by 20% of the actual histologic thickness [20–22]. Interestingly, the present study found no association between a patient’s characteristic or type of tooth and RDT/TDT values. If this independence is confirmed, the RDT/TDT ratio will allow comparisons between various study populations.

Algorithms that enhance contrast and brightness sharpen an image by removing low-frequency noise and enhancing boundaries between regions. In our analysis of literature, application of filters, such as brightness and contrast do not impair diagnostic. Application of filters leads to either increased accuracy or similar accuracy, except in the case of diagnosing incipient lesions, where more false positive lesions are diagnosed [23]. Nascimento [24] showed adjustments of brightness and contrast had no impact on non cavitated caries detection, two others studies showed adjustments were indifferent [25, 26], a few studies concluded that influence of image adjustments were favourable and increased diagnostic accuracy [27–29].

Gaêta-Araujo [30] concludes that modifications of brightness and contrast affect diagnostic accuracy, however they do not compromise diagnostic. Nevertheless, enhancement may clarify the borders of a lesion, decrease the diagnostic effort and save time [10].

Here, contrasting did not allow improving inter-rater agreement and reliability. The advantage of contrasted, standard radiographs could not be proven here because of the low number of pulp exposures. In this study, a complete removal of bias was extremely difficult because of the large

errors. This is linked to the assumptions needed for the main analysis (see the limitations). Thus, the results from the main analysis can hardly be used to compare standard vs. contrasted radiographs.

One of the limitations of this study is that the main analysis relied on assumptions about the distributions of the measurement errors and the RDT/TDT values. A particular attention was paid to the quality of fit of the model but some assumptions (e.g., the additivity and non-differentiability of the errors) cannot be checked given the available data. Another limitation is that 110 radiographs out of 470 had to be excluded, which might have induced some selection bias. In taking the radiographs, each of the 15 centres had its own equipment with different X-ray generators; the radiographs were thus subjected to a kind of technical variability (exposure time, resolution at development or image exportation) which might have decreased the quality of some radiographs to below-standard levels. A third limitation is that the percentage of pulp exposures was low (7%) as compared with previously reported percentages (17.5–50%) [4, 31]. It would be very interesting to investigate the predictive value of the RDT/TDT ratio by using it with other datasets that include much more pulp exposures.

Pre-operative intra-oral radiograph is currently a recommended routine examination. The present study confirmed that there is a need for improving its reading and interpretation. Indeed, an optimized use of pre-operative radiographs for selective carious tissue removal in DCLs is important for quaternary prevention and optimal care [3]. However, there is currently no accredited guidelines for complete intra-oral procedures. Such recommendations will be surely welcome. Also, further work on post-processing is awaited for; so, future research may enhance the value and use of the RDT/TDT ratio. Other possibilities are to develop deep learning strategies (typically, a Convolutional Neural Network) that would use other information than lesion depth to increase the predictability of pulp exposure. Such works have been already performed in other medical specialties [32–34]. The benefits of Artificial Intelligence in dentistry imaging should also be seriously investigated [35, 36].

In conclusion, erroneous or inaccurate estimations of a carious lesion's depth on pre-operative radiographs limit the chances of success and increase the costs of treatment. Ratio RDT/TDT is a promising approach providing accurate measurements of both ratio components through standardization and automation/digitalization of the whole process. This research will be beneficial especially for clinicians in terms of providing a more accurate pre-operative assessment using 2D radiographs.

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1007/s11282-021-00530-w>.

Declarations

Conflict of interest The authors have no conflicts of interest to declare.

Ethical approval All procedures followed were in accordance with the ethical standards of the responsible committee on human experimentation (institutional and national) and with the Helsinki Declaration of 1975, as revised in 2008.

Informed consent Informed consent was obtained from all patients for being included in the study.

References

- Peres MA, Macpherson LMD, Weyant RJ, Daly B, Venturelli R, Mathur MR, et al. Oral diseases: a global public health challenge. *Lancet*. 2019;394:249–60.
- Kassebaum NJ, Bernabé E, Dahiya M, Bhandari B, Murray CJL, Marcenes W. Global burden of untreated caries: a systematic review and metaregression. *J Dent Res*. 2015;94(5):650–8.
- Doméjean S, Grosogeat B. Evidence-Based Deep Carious Lesion Management: From Concept to Application in Everyday Clinical Practice. *Monogr Oral Sci*. 2018;27:137–45.
- Barros MMAF, De Rodrigues MIQ, Muniz FWMG, Rodrigues LKA. Selective, stepwise, or nonselective removal of carious tissue: which technique offers lower risk for the treatment of dental caries in permanent teeth? A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Invest*. 2020;24:521–32.
- Villat C, Attal J-P, Brulat N, Decup F, Doméjean S, Dursun E, et al. One-step partial or complete caries removal and bonding with antibacterial or traditional self-etch adhesives: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2016;17:404.
- Bjørndal L, Simon S, Tomson PL, Duncan HF. Management of deep caries and the exposed pulp. *Int Endod J*. 2019;52:949–73.
- Schwendicke F, Stolpe M, Meyer-Lueckel H, Paris S, Dörfer CE. Cost-effectiveness of one- and two-step incomplete and complete excavations. *J Dent Res*. 2013;92:880–7.
- Braga MM, Mendes FM, Ekstrand KR. Detection activity assessment and diagnosis of dental caries lesions. *Dent Clin North Am*. 2010;54:479–93.
- Neuhaus KW, Lussi A. Carious lesion diagnosis: methods, problems, thresholds. In: Schwendicke F, Frencken J, Innes N, editors. *Monographs in oral science*. Karger; 2018. p. 24–31 (cité 8 Mars 2020) <https://www.karger.com/Article/FullText/487828>.
- Wenzel A. Radiographic display of carious lesions and cavitation in approximal surfaces: advantages and drawbacks of conventional and advanced modalities. *Acta Odontol Scand*. 2014;72:251–64.
- Schwendicke F, Splieth C, Breschi L, Banerjee A, Fontana M, Paris S, et al. When to intervene in the caries process? An expert Delphi consensus statement. *Clin Oral Invest*. 2019;23:3691–703.
- Innes NP, Frencken JE, Bjørndal L, Maltz M, Manton DJ, Ricketts D, Van Landuyt K, Banerjee A, Campus G, Doméjean S, Fontana M, Leal S, Lo E, Machiulskiene V, Schulte A, Splieth C, Zandona A, Schwendicke F. Managing Carious Lesions: consensus recommendations on terminology. *Adv Dent Res*. 2016;28(2):49–57.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;1:307–10. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)90837-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8).
- Lin L, Hedayat AS, Wu W. Statistical tools for measuring agreement. Springer Science & Business Media; 2012. p. 161.
- Yu Y, Lin L (2012) Agreement: statistical tools for measuring agreement. R package version 0.8-1. Available from <https://cran.r-project.org/src/contrib/Archive/Agreement/>. Accessed 14 Oct 2020
- Carroll RJ, Ruppert D, Stefanski LA, Crainiceanu CM. Measurement error in nonlinear models: a modern perspective. 2nd ed. Chapman & Hall/CRC; 2006. p. 484.
- Asparouhov T, Muthén B. Structural equation models and mixture models with continuous nonnormal skewed distributions. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal*, vol. 23. Routledge; 2016. p. 1–19. <https://doi.org/10.1080/10705511.2014.947375>.
- R Core Team (2019) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria. Available from <https://www.R-project.org/>. Accessed 14 Oct 2020
- Schwendicke F, Tzschoppe M, Paris S. Radiographic caries detection: a systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2015;43:924–33.
- Berberi R, Khairallah A, Kazan HF, Ezzedine M, Bandon D, Sfeir E. Measurement reliability of the remaining dentin thickness below deep carious lesions in primary molars. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2018;11:23–8.
- Jhany NA, Hawaj BA, Hassan AA, Semrani ZA, Bulowey MA, Ansari S. Comparison of the Estimated Radiographic Remaining Dentine Thickness with the Actual Thickness Below the Deep Carious Lesions on the Posterior Teeth: An in vitro Study. *Eur Endod J*. 2019;4(3):139–44.
- Lancaster PE, Craddock HL, Carmichael FA. Estimation of remaining dentine thickness below deep lesions of caries. *Br Dent J*. 2011;211:E20–E20.
- Shokri A, Kasraei S, Lari S, Mahmoodzadeh M, Khaleghi A, Musavi S, et al. Efficacy of denoising and enhancement filters for detection of approximal and occlusal caries on digital intraoral radiographs. *J Conserv Dent*. 2018;21:162.
- Nascimento EH, Gaêta-Araujo H, Vasconcelos KF, Freire BB, Oliveira-Santos C, Haiter-Neto F, et al. Influence of brightness and contrast adjustments on the diagnosis of proximal caries lesions. *Dentomaxillofac Radiol*. 2018;47:20180100.
- Haak R, Wicht MJ, Noack MJ. Conventional, digital and contrast-enhanced bitewing radiographs in the decision to restore approximal carious lesions. *Caries Res*. 2001;35:193–9.
- Belém MDF, Ambrosano GMB, Tabchoury CPM, Ferreira-Santos RI, Haiter-Neto F. Performance of digital radiography with enhancement filters for the diagnosis of proximal caries. *Braz Oral Res*. 2013;27:245–51.
- Kajan ZD, Davaloo RT, Tavangar M, Valizade F. The effects of noise reduction, sharpening, enhancement, and image magnification on diagnostic accuracy of a photostimulable phosphor system

- in the detection of non-cavitated approximal dental caries. *Imaging Sci Dent.* 2015;45:81.
28. Møystad A, Svanaes DB, Risnes S, Larheim TA, Grøndahl HG. Detection of approximal caries with a storage phosphor system. A comparison of enhanced digital images with dental X-ray film. *Dentomaxillofac Radiol.* 1996;25:202–6.
 29. Seneadza V, Koob A, Kaltschmitt J, Staehle HJ, Duwenhoegger J, Eickholz P. Digital enhancement of radiographs for assessment of interproximal dental caries. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008;37:142–8.
 30. Gaêta-Araujo H, Nascimento EHL, Brasil DM, Gomes AF, Freitas DQ, De Oliveira-Santos C. Detection of Simulated Periapical Lesion in Intraoral Digital Radiography with Different Brightness and Contrast. *Eur Endod J.* 2019;4(3):133–38.
 31. Leksell E, Ridell K, Cvek M, Mejare I. Pulp exposure after step-wise versus direct complete excavation of deep carious lesions in young posterior permanent teeth. *Dent Traumatol.* 1996;12:192–6.
 32. Li MD, Arun NT, Gidwani M, Chang K, Deng F, Little BP, et al. Automated assessment and tracking of COVID-19 pulmonary disease severity on chest radiographs using convolutional Siamese neural networks. *Radiol Artif Intell.* 2020;2:e200079.
 33. Ishioka J, Matsuoka Y, Uehara S, Yasuda Y, Kijima T, Yoshida S, et al. Computer-aided diagnosis of prostate cancer on magnetic resonance imaging using a convolutional neural network algorithm. *BJU Int.* 2018;122:411–7.
 34. Abdoell M, Tsuruda K, Schaller G, Caines J. Statistical evaluation of a fully automated mammographic breast density algorithm. *Comput Math Methods Med.* 2013;2013:1–6.
 35. Grischke J, Johannsmeier L, Eich L, Griga L, Haddadin S. Dentronics: towards robotics and artificial intelligence in dentistry. *Dent Mater.* 2020;36:765–78.
 36. Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial intelligence in dentistry: chances and challenges. *J Dent Res.* 2020;99:769–74.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Authors and Affiliations

Marie-Agnès Gasqui^{1,2,3} · Matthieu Pérard^{4,5,6} · Franck Decup^{7,8,9} · Paul Monsarrat^{10,11,12} · Yann-Loïc Turpin^{4,6} · Cyril Villat^{1,2,3} · François Gueyffier^{13,14,15} · Delphine Maucort-Boulch^{13,14,16} · Laurent Roche^{13,14,16} · Brigitte Grosgeat^{1,2,3} 

Marie-Agnès Gasqui
marie-agnes.gasqui-de-saint-joachim@chu-lyon.fr

Matthieu Pérard
matthieu.perard@univ-rennes1.fr

Franck Decup
franck.decup@u-paris.de

Paul Monsarrat
paul.monsarrat@univ-tlse3.fr

Yann-Loïc Turpin
yturpin@univ-rennes1.fr

Cyril Villat
cyril.villat@univ-lyon1.fr

François Gueyffier
francois.gueyffier@univ-lyon1.fr

Delphine Maucort-Boulch
delphine.maucort-boulch@chu-lyon.fr

Laurent Roche
laurent.roche01@chu-lyon.fr

- ¹ Faculté d'Odontologie, Université Claude Bernard Lyon 1, Université de Lyon, Lyon, France
- ² Laboratoire des Multimatiériaux et Interfaces, UMR CNRS 5615, Université Claude Bernard Lyon 1, Université de Lyon, Lyon, France
- ³ Service d'Odontologie, Hospices Civils de Lyon, Lyon, France

⁴ Faculté d'Odontologie, Université de Rennes 1, Rennes, France

⁵ Institut des Sciences Chimiques de Rennes, UMR CNRS 6226, Rennes, France

⁶ Pôle d'Odontologie, CHU Rennes, Rennes, France

⁷ Faculté d'Odontologie, Université Paris Descartes, Montrouge, France

⁸ Pathologie Imagerie et Biothérapies orofaciales, EA2496, Université Paris Descartes, 92120 Montrouge, France

⁹ Service d'Odontologie, Assistance Publique des Hôpitaux de Paris, Hôpital Charles-Foix, Ivry, France

¹⁰ Faculté d'Odontologie, Université Paul Sabatier, Toulouse, France

¹¹ STROMALab, Université de Toulouse, CNRS ERL 5311, EFS, INP-ENVT, Inserm, UPS, Toulouse, France

¹² Centre Hospitalo-Universitaire, Toulouse, France

¹³ Université Claude Bernard Lyon 1, Université de Lyon, Lyon, France

¹⁴ Équipe Biostatistique-Santé, Laboratoire de Biométrie et Biologie Évolutive, CNRS UMR 5558, Villeurbanne, France

¹⁵ Hôpital cardiologique, Hospices Civils de Lyon, Lyon, France

¹⁶ Service de Biostatistique-Bioinformatique, Pôle Santé Publique, Hospices Civils de Lyon, Lyon, France



POSTER ID
357 2004
#1278



Pulpal exposure risk prediction from radiographic with CNN: preliminary results

Marie-Agnès GASQUI^{1,2,3}, Matthieu PERARD^{4,5,6}, Brigitte GROSGOGEAT^{1,2,3}, Francis KEMPENAEERS⁷, Emmanuel ROUX⁷, Fabien MILLIOZ⁷

¹Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, Faculté d'Odontologie, Lyon France; ²Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, Laboratoire des Multimatériaux et Interfaces, UMR CNRS 5615, Lyon, France; ³Hospices Civils de Lyon, Service d'Odontologie, Lyon, France.

⁴Université de Rennes, Faculté d'Odontologie, Rennes, France; ⁵Institut des Sciences Chimiques de Rennes, UMR CNRS 6226, Rennes, France; ⁶Centre Hospitalo-Universitaire, Pôle d'Odontologie, Rennes, France

⁷Centre de Recherche en Acquisition et Traitement de l'Image pour la Santé, Unité CNRS UMR 5220 – INSERM U1206 – Université Lyon 1 – INSA Lyon - Université Jean Monnet Saint-Etienne.

E-mail : marie-agnes.gasqui-de-saint-joachim@chu-lyon.fr

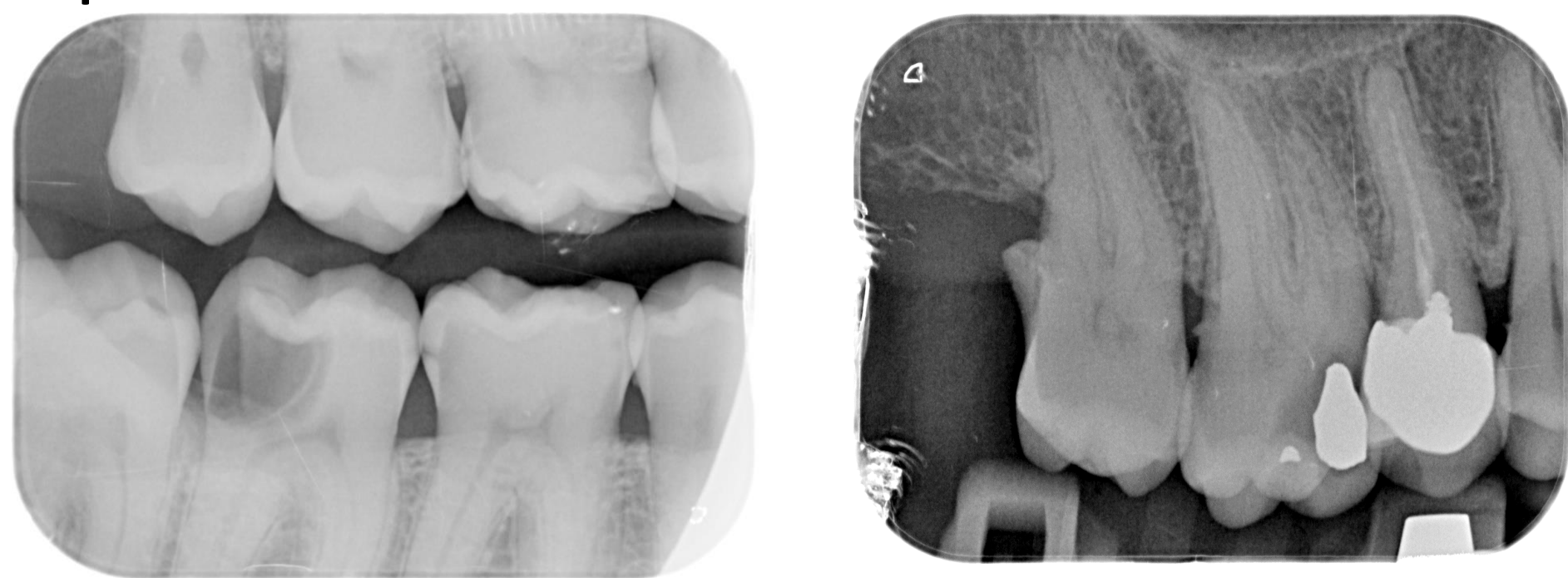
Objectives

Neural networks are a set of algorithms that compute signals via artificial neurons. The purpose of deep learning is to construct a neural network that automatically identifies patterns to improve feature detection. A set of pre-operative radiographs of deep carious lesions is given to a CNN so as to determine if the CNN is able to (1) detect if a carious lesion is present or not and (2) to predict pulp exposure during surgical treatment of these carious lesions from pre-operative radiographs.

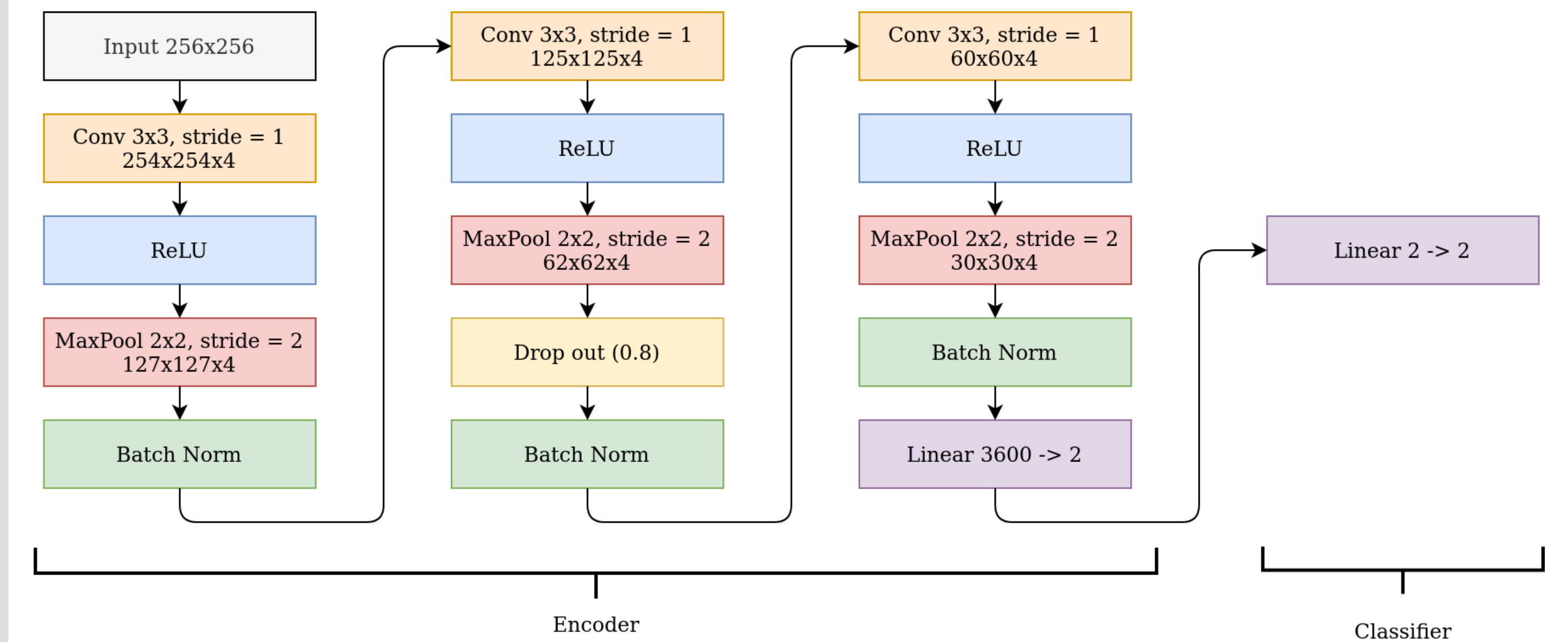
Material & Methods

Database

- The data base (1) consists of 113 radiographs without carious lesions, 747 with carious lesions
- The data base (2) consists of 25 pre-operative radiographs of deep carious lesions labelled as pulpal exposure, 331 pre-operative radiographs of deep carious lesions labelled as no pulpal exposure issued from database PHRC DECAT ^{1,2}.

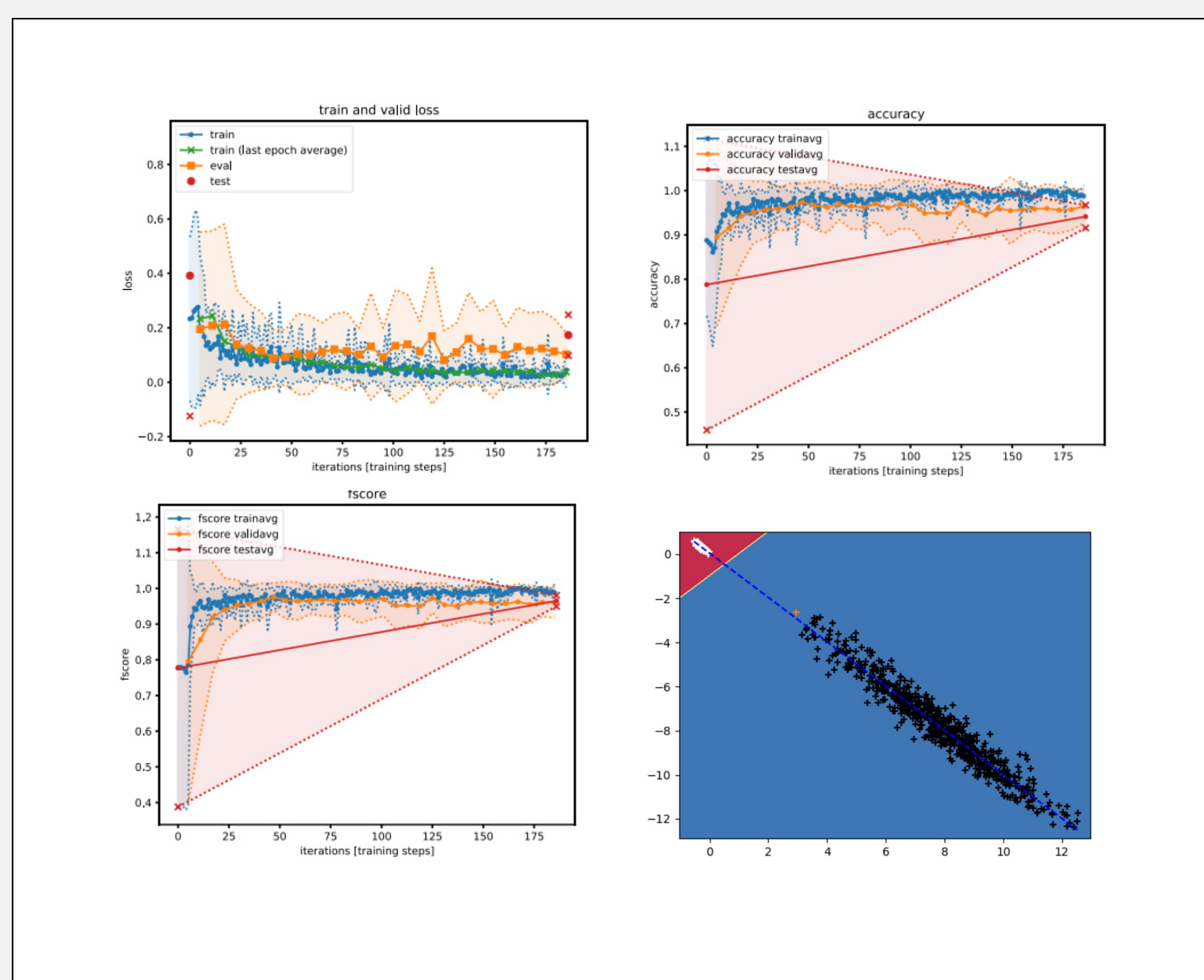


Construction of the convolutional neural network ^{3,4,5}



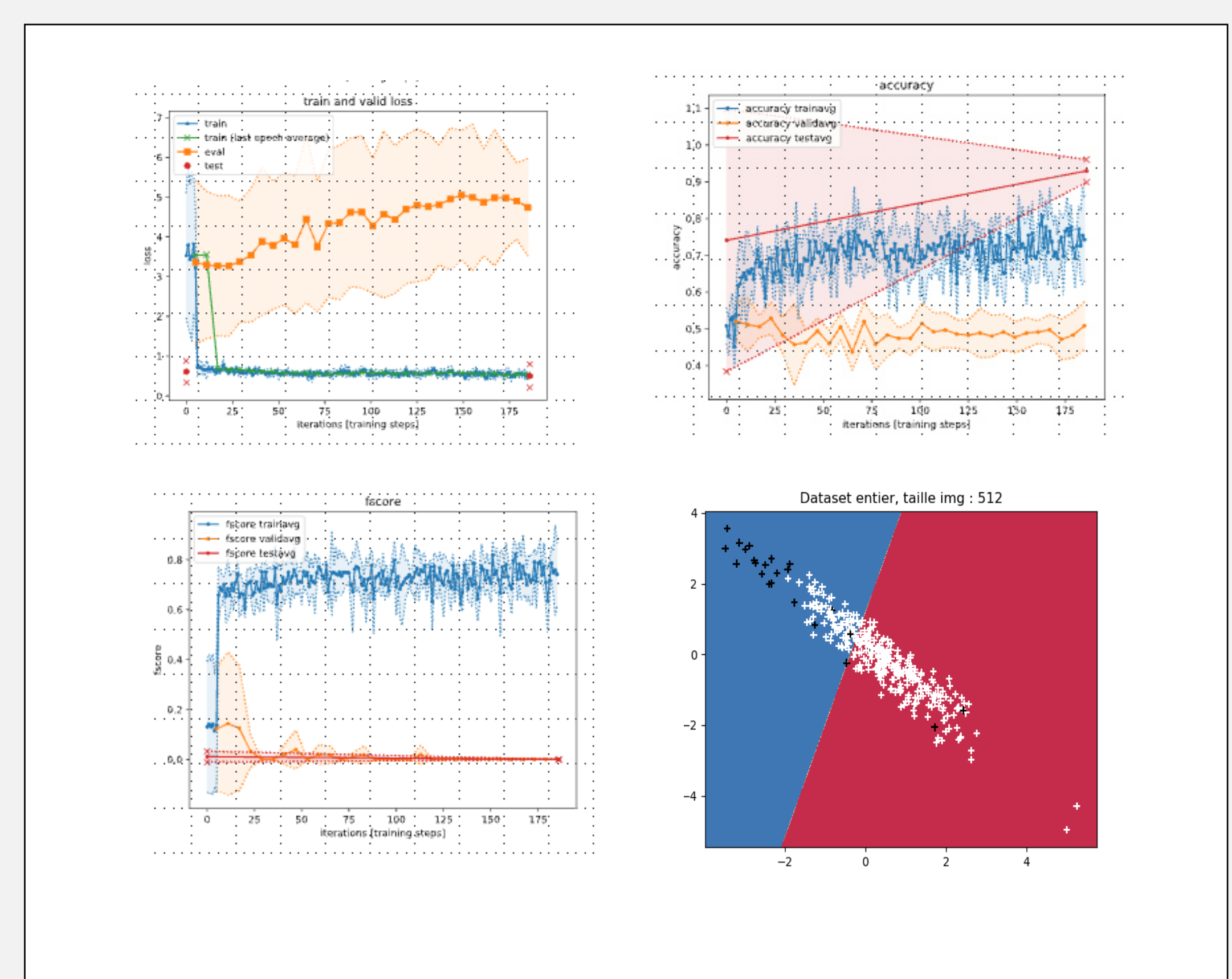
Division of data into 5 folds:
3/5: training set; 1/5: validation set; 1/5: test set

Results



Results of prediction on the experiment detection of carious lesion:

- performance of the test set:
accuracy : 94.15%; f-Score : 96.51%; loss : 0.173.
- metrics > 90%



Results of prediction on the experiment of pulpal exposure :

- performance of the test set:
accuracy : 88.73%; f-Score : 40.30% ; loss : 0,3021.
- few false negatives (3), more false positives

Conclusion & Perspectives

This work constitutes an exploratory approach to apprehend the clinical application of an aid to radiographic detection by a deep convolutional neural network. There is still work to be done to upgrade the generalisation of the model to new data.

Bibliography:

1. PHRC DECAT (DEep Caries Treatment), n°13-0347
2. Villat C, Attal JP, Brulat N, Decup F, Doméjean S, Dursun E, Fron-Chabouis H, Jacquot B, Muller Bolla M, Plasse-Pradelle N, Roche L, Maucourt-Boulch D, Nony P, Gritsch K, Millet P, Gueyffier F, Grosogoeat B. One-step partial or complete caries removal and bonding with antibacterial or traditional self-etch adhesives: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2016 Aug 15;17(1):404. doi: 10.1186/s13063-016-1484-0. PMID: 27527342; PMCID: PMC4986347.
3. Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-Net : Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. Springer International Publishing, Cham, 2015 May, pp 234–241.
4. Deep learning with PyTorch. <https://pytorch.org/deep-learning-with-pytorch>.
5. Medium : Relu. <https://medium.com/@danqing/a-practical-guide-to-relu-b83ca804f1f7>.

Optimisation de la prise en charge des lésions carieuses profondes

Résumé :

Les objectifs de ce travail doctoral étaient d'améliorer les connaissances sur la prise en charge des lésions carieuses profondes et de proposer des outils afin d'optimiser celle-ci.

Pour y parvenir, dans un premier temps, une évaluation des pratiques des externes de DFASO2 a été réalisée à l'aide d'une enquête par questionnaires menée par le Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice. L'enquête montre que 50% des étudiants réalisent une excavation complète dans la prise en charge d'une lésion carieuse profonde d'une dent asymptomatique, versus 75% d'excavation complète pour les praticiens libéraux français. Les étudiants ont une vision plus conservatrice que leurs aînés sur la préservation pulpaire obtenue avec l'éviction sélective.

Dans un deuxième temps, la profondeur des lésions carieuses et la probabilité d'effraction pulpaire lors de leur curetage ont été analysées à partir d'une base de données de radiographies préopératoires non contrastées et contrastées de lésions carieuses profondes. La probabilité d'effraction pulpaire est mesurée par un indice prédictif qui est le ratio de l'épaisseur de dentine résiduelle rapportée à l'épaisseur de dentine totale. Lorsque le ratio diminue de 10 points, le risque d'effraction pulpaire est multiplié par 2,57 sur les radiographies non contrastées et par 4 sur les radiographies contrastées.

Enfin, pour améliorer la reproductibilité de lecture des radiographies préopératoires, une lecture automatisée à l'aide d'un réseau de neurones convolutif a été mise en place. Les résultats de la première expérience sur la détection des lésions carieuses sont encourageants (performance du réseau supérieure à 90%). Les résultats de l'expérience principale sur la prédiction de l'effraction pulpaire sont encore à améliorer.

Mots clés :

Lésion carieuse profonde, effraction pulpaire, radiographie préopératoire, exactitude des mesures, variation inter-évaluateur, application de filtres de contraste, deep learning, réseau de neurones convolutif.

GASQUI DE SAINT JOACHIM Marie-Agnès

N° d'ordre 2021LYSE1216

Thèse réalisée au sein du Laboratoire Multimatériaux et Interfaces (LMI) - UMR CNRS 5615

Équipe Biomatériaux et Interfaces Biologiques, UFR d'Odontologie,

11 rue Guillaume Paradin, 69372 Lyon Cedex 08