

UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2025

N°:

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

Présentée et soutenue publiquement le 07 janvier 2025

Par Cyrielle OBIN

Née le 04/12/2000 à Lille (59) - France

Utilisation de l'intelligence artificielle en odontologie pédiatrique

JURY

Président : Monsieur le Professeur Philippe BOITELLE
Assesseurs : Monsieur le Docteur Thomas TRENTESAUX
Monsieur le Docteur Thomas MARQUILLIER
Madame le Docteur Caroline DUHAMEL

MAITRES DES CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
A. BLAIZOT	Prévention, Épidémiologie, Économie de la Santé, Odontologie Légale
F. BOSCHIN	Parodontologie
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Épidémiologie, Économie de la Santé, Odontologie Légale
X. COUDEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
C. DENIS	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Responsable du département de Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin – CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
H. PERSOON	Dentisterie Restauratrice Endodontie (Maître de conférences des Universités associé)
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Responsable du Département d'Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses
R. WAKAM KOUAM	Prothèses

PRATICIEN HOSPITALIER UNIVERSITAIRE

M. BEDEZ	Biologie Orale
----------	----------------

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation ni improbation ne leur est donnée.

Remerciements

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Philippe BOITELLE

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

*Section de Réhabilitation Orale
Département Prothèses*

Docteur en Chirurgie Dentaire

Habilitation à Diriger des Recherches (Université de Lille)

Docteur de l'Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité. Spécialité : Mécanique des matériaux.

Master 2 recherche Biologie et Santé, mention Biologie cellulaire et biologie quantitative
– Université Lille2

Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales – Université Lille2

CES d'Odontologie Prothétique option Prothèse fixée – Université Paris Descartes

Prix 2006 Annual Scholarship Award for outstanding academic achievements in dentistry
– Pierre Fauchard Academy Foundation – New-York – U.S.A

Responsable du Département de Prothèses

Responsable de l'Unité Fonctionnelle de Prothèse

Responsable du DU Biomimétique, Esthétique et Numérique (Lille)

Chargé de mission à la Formation Continue

Je vous remercie pour l'honneur que vous me faites en acceptant de présider ce jury de thèse.

Je vous suis particulièrement reconnaissante pour votre présence lors de ma soutenance qui est un moment crucial dans mon parcours académique.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon profond respect.

Monsieur le Docteur Thomas TRENTESAUX

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section Développement, Croissance et Prévention

Département Odontologie Pédiatrique

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Ethique et Droit Médical de l'Université Paris Descartes (Paris V)

Certificat d'Etudes Supérieures de Pédodontie et Prévention – Paris Descartes (Paris V)

Diplôme d'Université « Soins Dentaires sous Sédation » (Aix-Marseille II)

Master 2 Ethique Médicale et Bioéthique Paris Descartes (Paris V)

Formation certifiante « Concevoir et évaluer un programme éducatif adapté au contexte de vie d'un patient »

Vice-président de la Société Française d'Odontologie Pédiatrique

Responsable du département d'Odontologie Pédiatrique

Vous me faites l'honneur et le plaisir de siéger dans le jury de cette thèse et je vous en remercie.

Je vous suis très reconnaissante pour votre aide apportée dès notre premier échange concernant mon sujet de thèse.

Veillez trouver dans ce travail, l'expression de ma profonde admiration à votre égard, pour votre pédagogie et vos enseignements.

Monsieur le Docteur Thomas MARQUILLIER

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section 56 - Développement, croissance et prévention

Sous-section 56-01 - Odontologie pédiatrique & Orthopédie dento-faciale

Département d'odontologie pédiatrique

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Santé Publique

Habilitation à Diriger des Recherches

Spécialiste Qualifié en Médecine Bucco-Dentaire

Certificat d'Études Supérieures Odontologie Pédiatrique et Prévention

Attestation Universitaire Soins dentaires sous sédation consciente au MEOPA

Diplôme Universitaire Dermato-vénéréologie de la muqueuse buccale

Master 1 Biologie Santé – mention Ethique et Droit de la Santé

Master 2 Santé Publique – spécialité Education thérapeutique et éducations en santé

Formation Certifiante en Education Thérapeutique du Patient

Diplôme du Centre d'Enseignement des Thérapeutiques Orthodontiques, orthopédiques et fonctionnelles

Lauréat de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Lauréat du Prix Elmex® de la Société Française d'Odontologie Pédiatrique

Responsable de l'Unité Fonctionnelle d'Odontologie pédiatrique – CHU de Lille

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter spontanément de siéger dans ce jury de thèse, je vous suis très reconnaissante pour votre présence en ce jour si spécial pour moi.

Je vous remercie pour le temps et l'attention que vous avez consacré à la lecture de mon travail ainsi que pour votre présence pour cette étape clé de mon parcours.

Soyez assuré de toute ma considération et ma gratitude à votre égard.

Madame le Docteur Caroline DUHAMEL

Chef de Clinique des Universités – Assistant Hospitalier

Section Développement, Croissance et Prévention

Département Odontologie Pédiatrique

Docteur en Chirurgie Dentaire

Master 1 Biologie Santé – Parcours dispositifs médicaux

Je te remercie infiniment de m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse, qui plus est ta première thèse en tant qu'enseignante ; ainsi que la confiance que tu m'as accordée pour la réalisation de ce travail.

Je suis extrêmement reconnaissante pour ta disponibilité tout au long de la rédaction de cette thèse, de tes conseils et ton aide précieuse. Ta bienveillance et ta gentillesse ont fait de ce travail un partage très enrichissant, je t'en remercie.

Sois assurée de ma sincère reconnaissance, je te souhaite une très belle carrière professionnelle et personnelle.

À mes proches,

Table des abréviations

Abréviations	Définitions
CBCT	Cone Beam Computed Tomography
ChatGPT	Chat Generative Pre-trained Transformer
CNN	Convolutional Neural Networks
DL	Deep Learning
FDA	Food and Drug Administration
HSDM	Harvard School of Dental Medicine
IA	Intelligence Artificielle
ML	Machine Learning
NDD	Neural network-based method for Drug-Drug interaction prediction
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
RGPD	Règlement Général sur la Protection des Données
UE	Union Européenne
VRHS	Virtual Reality Haptic Simulators

Table des matières

Introduction	14
1. Généralités sur l'intelligence artificielle	15
1.1 Historique	15
1.2 Les différents aspects de l'IA	15
1.3 L'historique de l'IA en médecine.....	16
2. L'intérêt en odontologie	19
2.1 Évaluer la santé du patient et les effets d'un médicament.....	19
2.2 Affiner la précision du diagnostic : Identifier les lésions sur une radiographie, les structures anatomiques	20
2.3 Proposer différents plans de traitement, établir des pronostics.....	23
2.4 Développement de la formation : simulateurs haptiques	25
3. Les différents domaines d'utilisation en odontologie pédiatrique	27
3.1 Plaque dentaire	27
3.2 Évaluation du risque carieux.....	28
3.3 Lecture de clichés radiographiques.....	29
3.3.1 Détection de lésions carieuses	29
3.3.2 Mésiodens et dents surnuméraires.....	31
3.3.3 Numérotation des dents temporaires.....	33
3.3.4 Détection des dents manquantes	34
3.4 Réalité virtuelle et réalité augmentée	35
3.5 Évaluation du besoin de traitement orthodontique	36
3.6 Détection des fractures verticales.....	37
3.7 Détection de problèmes parodontaux	37
4. La limite de ces nouveaux outils	39
4.1 La réglementation	39
4.2 La relation praticien/patient.....	39
4.3 La confidentialité.....	40
4.4 Limites de la technologie actuelle.....	40
4.5 La responsabilité	41
4.6 La nécessité de formation.....	42
Conclusion	43

Introduction

La santé est un des domaines majeurs d'application des technologies dites d'intelligence artificielle. [1]

Les potentiels sont tels que ni le public, ni les patients, ni les professionnels de santé ne peuvent rester à l'écart des enjeux, des bénéfices et des limites de ces nouvelles avancées.

Dans le domaine de la dentisterie, les résultats obtenus dans la recherche utilisant l'intelligence artificielle mettent en évidence son impact important, ouvrant la voie à des avancées transformatrices dans la pratique. Cette technologie avancée accélère considérablement la transformation de l'odontologie.

En 2023, près de 700 dispositifs utilisant des technologies d'IA ont été approuvés par la FDA (U.S Food & Drug Administration). [1]

Dès la première consultation, l'intelligence artificielle montre son intérêt en passant de l'analyse radiographique d'images à la proposition de diagnostics. Elle n'a pas pour but de remplacer le chirurgien-dentiste mais plutôt de lui apporter un outil d'aide à la décision clinique. [2]

En odontologie pédiatrique, par exemple, les lésions carieuses débutantes et les dentitions mixtes sont parfois difficiles à diagnostiquer, l'IA est dans ce cas un moyen de confirmer nos hypothèses. [3]

Cette technologie étant en plein essor, certains risques et certaines limites sont déjà évoqués. Des lois sont donc mises en place afin de mettre un cadre au sein de la pratique. [4]

1. Généralités sur l'intelligence artificielle

1.1 Historique

L'idée de l'intelligence artificielle a émergé en 1943 mais le terme a été inventé en 1956 à Stanford par John McCarthy, un informaticien américain, qui l'a définie comme une « *fabrication de machines capables de reproduire les tâches accomplies par l'Homme* ». [5]

En 1978, Richard Bellman, un mathématicien américain, a défini l'intelligence artificielle comme « *l'automatisation des activités associées aux capacités de réflexion humaine, ce qui inclut l'apprentissage, la prise de décision et la résolution de problèmes* ». [5]

1.2 Les différents aspects de l'IA

Le domaine de l'intelligence artificielle est si vaste qu'il a été différencié sous plusieurs aspects.

« *Machine Learning* » repose sur des algorithmes permettant de prédire des résultats à partir d'un ensemble de données sans l'aide humaine.

Ce terme a été inventé par Arthur Samuel en 1959 comme le « *domaine d'étude qui donne aux ordinateurs la capacité d'apprendre sans être explicitement programmés* ».

« *Neural Networks* » est un ensemble d'algorithmes qui calculent des signaux via des neurones artificiels. L'objectif est de créer des réseaux neuronaux qui fonctionnent comme le cerveau humain. [5]

« *Deep Learning* » est une composante de « *Machine Learning* » qui utilise le réseau avec différentes couches de calcul dans un réseau neuronal profond pour analyser les données d'entrée. L'objectif est de construire un réseau neuronal qui identifie automatiquement des modèles afin d'améliorer la détection des caractéristiques. « *Deep Learning* » est également connu sous le nom de « *Convolutional Neural Networks* », il est principalement utilisé pour traiter des images complexes et de grande taille. [2]

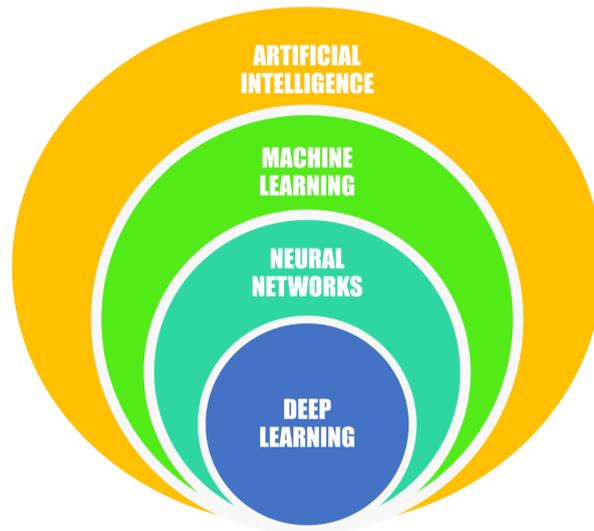


Figure 1. Aspects de l'intelligence artificielle (Khanagar SB, 2021)

1.3 L'histoire de l'IA en médecine

Les premiers modèles d'IA dans les années 1950 présentaient certaines limitations, ce qui empêchait une acceptation généralisée et une application dans le domaine de la médecine. Cependant, grâce à l'avènement de l'apprentissage profond (« *Deep Learning* »), ces limitations ont été levées. [6]

Entre les années 1950 et 1970, le développement du premier bras robotique industriel a permis l'automatisation des processus de coulées de matrices automatisées. Durant cette période, des systèmes comme Eliza® (1966, USA) ont également émergé, capables de communiquer pour simuler une conversation humaine. Il s'agissait du premier robot mobile sachant interpréter des instructions et exécuter les actions appropriées. [7]

La période entre les années 1970 et 2000 est appelée « l'hiver de l'IA ». En effet, cette époque a connu des désintérêts et une baisse de financements, et par conséquent un ralentissement du développement. Cela est dû aux limites perçues de l'IA ainsi qu'aux coûts élevés associés au développement et à la maintenance de bases de données numériques expertes. [6]

L'un des premiers prototypes à avoir démontré la faisabilité d'appliquer l'IA à la médecine fut le développement d'un programme de consultation pour le glaucome. Ce modèle présenté au congrès de l'Académie d'Ophtalmologie de Las Vegas en 1976 était capable de fournir aux médecins des conseils sur la prise en charge des patients. [8]

En 1986, DXplain[®] (1984, USA), un programme utilisant les symptômes entrés pour générer un diagnostic différentiel a été lancé. Lors de sa sortie, il pouvait fournir des informations sur environ 500 maladies, aujourd'hui il s'est développé à 2400 maladies. [6]

Des années 2000 à 2020, le *Deep Learning* a marqué une avancée importante. Pharmabot[®] (2015, France), un chatbot, a été conçu en 2015 pour aider à l'éducation médicamenteuse des patients pédiatriques et de leurs parents. [9]

Le DL peut désormais être utilisé pour détecter des lésions, établir des diagnostics différentiels et rédiger des rapports médicaux automatisés.

L'IA a également été appliquée pour prédire de manière fiable la progression de la maladie d'Alzheimer, le dépistage de la rétinopathie diabétique, ou encore l'identification des cancers de la peau non mélanome et mélanome. [6]

Au cours des dernières années, l'IA a suscité un intérêt croissant dans le domaine de la dentisterie, se traduisant par une augmentation annuelle moyenne de 35% des publications dédiées à ce sujet entre 2016 et 2021, comme nous le montre le graphique ci-dessous. [10]

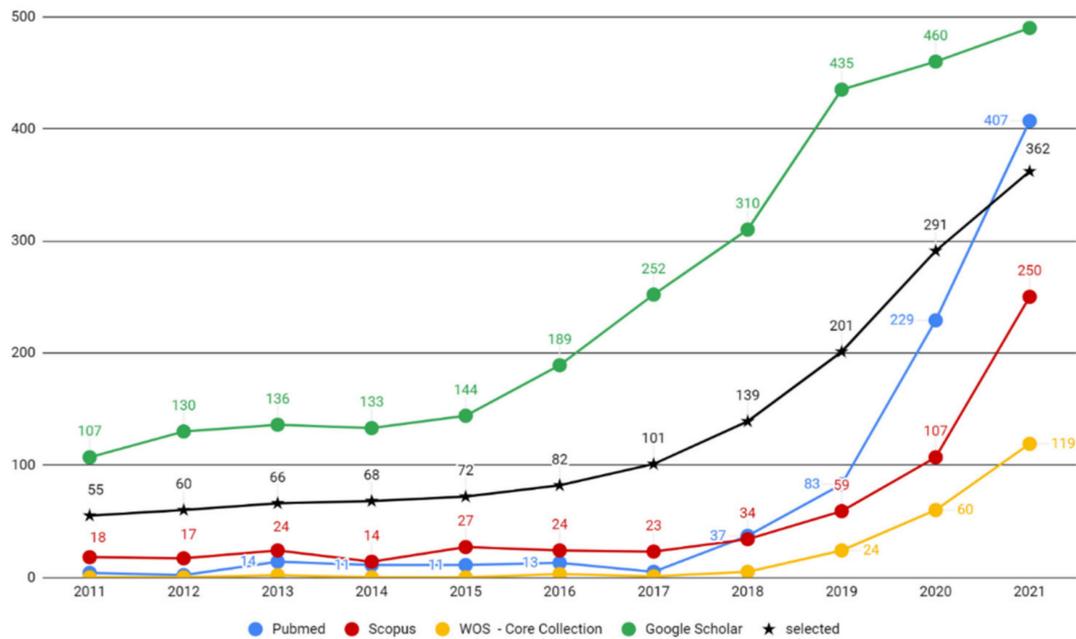


Figure 2. Nombre d'articles publiés par an sur l'IA en dentisterie entre 2011 et 2021 (Thurzo A, 2022)

2. L'intérêt en odontologie

2.1 Évaluer la santé du patient et les effets d'un médicament

L'anamnèse est une étape primordiale et représente le fil conducteur dans la prise en charge de nos patients. La manière de poser les questions, le ton de voix employé et l'empathie du praticien peuvent influencer sur la réponse du patient. [11]

L'intégration de chatbots au cœur de la pratique apporte des améliorations dans le recueil des antécédents médico-chirurgicaux et est bien acceptée par les patients. [12]

Le logiciel Bingli® (2020, Belgique) permet, avant la consultation, une anamnèse guidée. Cela permet un gain de temps. D'autres applications existent également comme Babylon®, Ada®, Intermedica®.

Bingli® est un agent conversationnel qui pose au préalable de la consultation des questions aux patients, en adaptant la question suivante en fonction de la réponse précédente. À la fin du questionnaire, différents diagnostics différentiels sont proposés aux professionnels de santé.

Ces logiciels n'ont pas l'intention de remplacer les consultations mais de venir en complément et en aide aux praticiens. Quinze langues peuvent être utilisées, ce qui facilite la conversation notamment dans les services d'urgence où la prise en charge est parfois compliquée avec la barrière de la langue. ¹

Les interactions médicamenteuses sont un sujet important auquel le chirurgien-dentiste doit faire attention lors de la prescription de médicaments. Des effets secondaires peuvent survenir au cours de la prise de deux ou plusieurs médicaments simultanément. [13]

Cela peut causer des effets indésirables pouvant entraîner des hospitalisations et dans les cas les plus graves, le décès du patient.

¹ <https://www.agoria.be/fr/services/expertise/digitisation/healthtech/bingli-une-consultation-medicale-facilitee-grace-a-lia>

L'IA permet aujourd'hui d'anticiper ces interactions médicamenteuses. La prédiction de ces interactions est permise grâce à l'algorithme NDD (*Neural network-based method for drug-drug interaction prediction*). Il utilise des informations sur les propriétés chimiques des médicaments et leurs effets indésirables. [14]

2.2 Affiner la précision du diagnostic : Identifier les lésions sur une radiographie, les structures anatomiques

Parmi les 700 autorisations attribuées par la FDA à des dispositifs incluant des techniques d'IA depuis les années 2010, 77% concernent la radiologie médicale de manière générale. [1] La liste des autorisations est régulièrement mise à jour sur le site internet de la FDA. ²

En odontologie, l'apport de la radiologie comme examen complémentaire est parfois nécessaire au bon diagnostic, mais également un guide pour nos plans de traitement. Cela permet de visualiser notamment les structures anatomiques.

Plusieurs facteurs contribuent à la fiabilité de l'identification des repères : la définition du repère, la densité et la netteté des images, la complexité anatomique des tissus et l'expérience des observateurs.

Neuf repères anatomiques sont intéressants à visualiser sur une radiographie panoramique : le sinus maxillaire, l'orbite, le canal mandibulaire, le foramen mentonnier, le foramen mandibulaire, l'incisure mandibulaire, l'articulation temporo-mandibulaire avec le condyle et le processus coronoïde.

² <https://www.fda.gov/medical-devices/software-medical-device-samd/artificial-intelligence-and-machine-learning-aiml-enabled-medical-devices>

Une étude menée en 2023 en Turquie, regroupant 981 images de radiographies panoramiques analysant les 9 repères anatomiques a été réalisée. L'objectif était d'évaluer l'utilisation de la technologie de l'intelligence artificielle pour faciliter la détection des structures anatomiques. Les images réelles (R sur la Figure 3 ci-dessous) sont analysées par un radiologue et un dentiste pédiatrique et les images prédictives (P sur la figure) sont analysées par le modèle d'IA. [15]

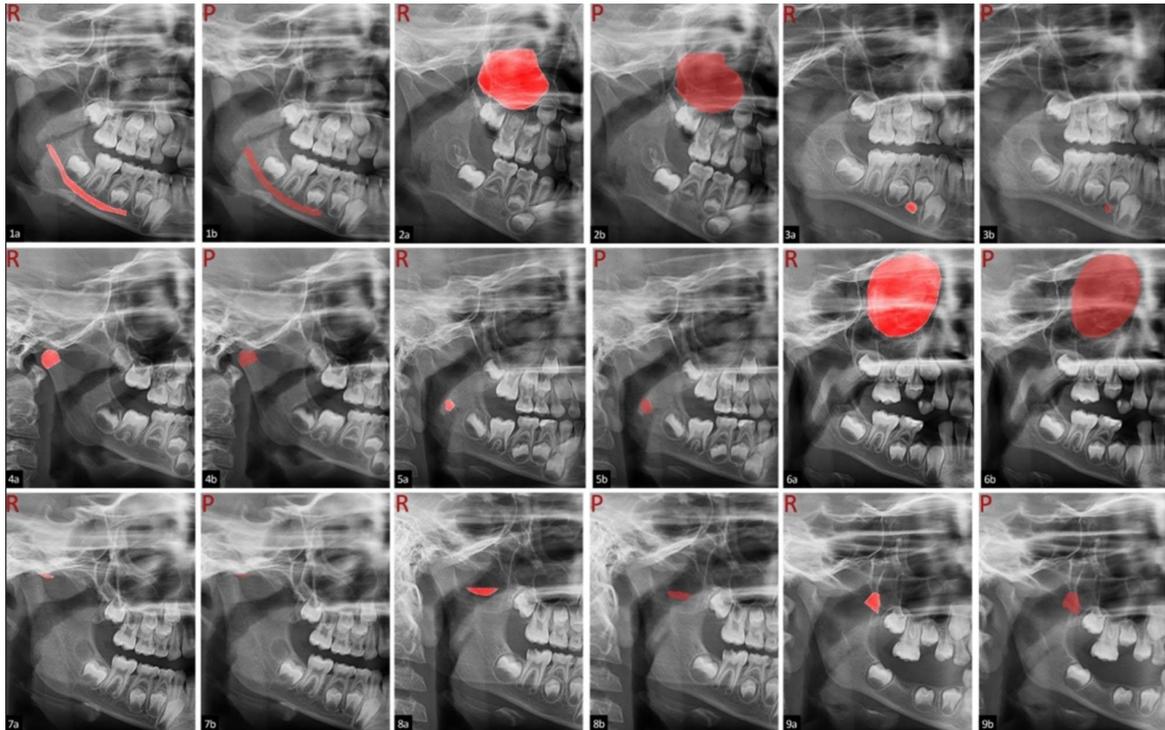


Figure 3. Images positives réelles et prédictives des repères anatomiques de radiographies panoramiques pédiatriques (Bag I, 2023)

Sur la Figure 3 ci-dessus nous pouvons voir les différentes structures suivantes : 1 canal mandibulaire, 2 sinus maxillaire, 3 foramen mentonnier, 4 processus condylien, 5 foramen mandibulaire, 6 orbite, 7 éminence articulaire, 8 incisure mandibulaire, 9 processus coronoïde.

La Figure 4 ci-dessous nous présente le résultat de l'ensemble des points de repère estimés par le modèle d'IA sur une radiographie panoramique pédiatrique (en denture mixte).

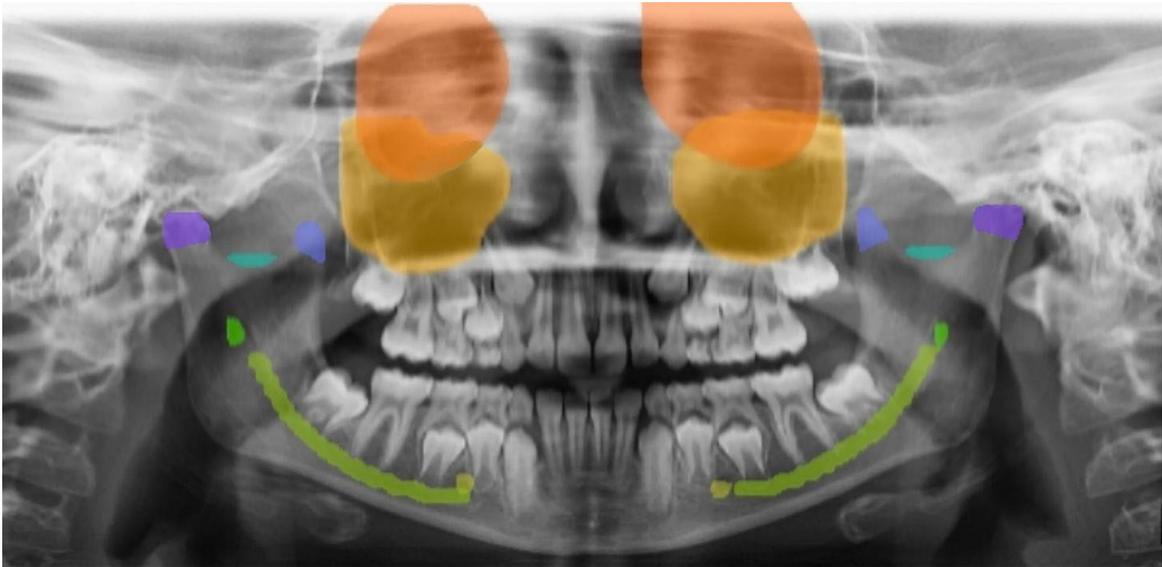


Figure 4. Le résultat de l'estimation du modèle d'IA pour tous les points de repère d'une image panoramique (Bag I, 2023)

Le développement de systèmes qui segmentent automatiquement ces structures jouera un rôle en tant que mécanisme d'aide à la décision clinique, augmentera la prise de conscience des dentistes et leur fera gagner du temps. Cependant, la superposition de formations anatomiques peut entraîner des difficultés de lecture pour le système d'IA, le praticien doit rester acteur de l'analyse radiographique finale. [15]

D'autre part, diverses études d'observateurs ont été menées pour évaluer l'exactitude des radiographies rétro-alvéolaires, des radiographies panoramiques et des images CBCT dans le diagnostic des lésions apicales. [16]

Les différentes lésions, notamment péri-apicales, qu'elles soient d'origine pulpaire ou parodontale peuvent affecter l'os alvéolaire.

Une étude menée en 2023 en Turquie a comparé les performances de détection de lésions apicales par trois jeunes dentistes avec 1 à 2 ans d'expérience, (JD1/2/3 sur la Figure 5 ci-dessous) et l'IA. [17]

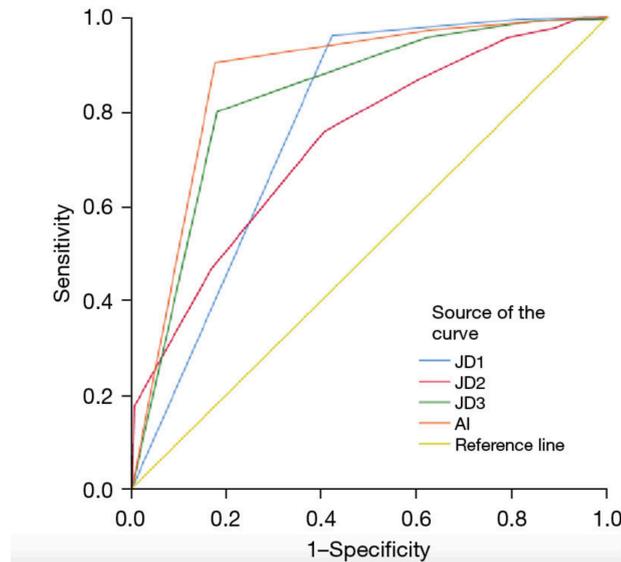


Figure 5. Détection de lésions péri-apicales par des dentistes et l'IA (Güneç HG, 2023)

Selon les résultats, l'IA serait plus efficace et plus précise.

Le temps moyen nécessaire aux jeunes dentistes pour évaluer les radiographies était plus de deux fois supérieur à celui du logiciel d'IA (24 secondes contre 10 secondes). [17]

2.3 Proposer différents plans de traitement, établir des pronostics

Le plan de traitement en dentisterie est établi en premier lieu pour répondre à la demande du patient et ensuite pour restaurer la santé bucco-dentaire. Ce plan repose sur un diagnostic précis et une évaluation du pronostic. [18]

Le pronostic est déterminé sur la base de l'examen clinique, radiologique et des facteurs spécifiques de chaque patient.

Une étude a été réalisée en 2022 par la *Harvard School of Dental Medicine (HSDM)*, durant laquelle plusieurs professeurs des différentes spécialités de la chirurgie dentaire se sont mis d'accord sur les paramètres clés énoncés dans la Figure 6 ci-dessous, nécessaires pour établir le pronostic dentaire.

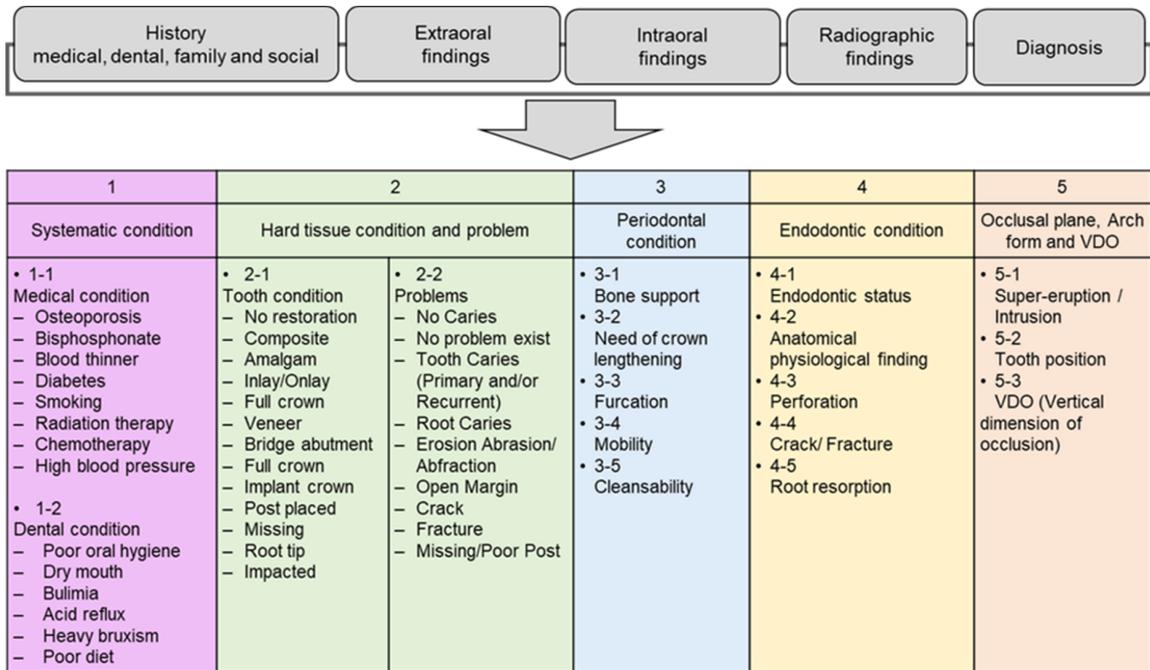


Figure 6. Les dix-sept paramètres clés pour déterminer le pronostic dentaire (Sang J. Lee, 2022)

À l'avenir, des outils d'aide à la décision clinique pourront être créés en intégrant les algorithmes d'apprentissage automatique développés à partir de cette étude pour faciliter la précision dans les soins bucco-dentaires. Ils pourraient également être utilisés dans les cabinets de médecine générale. [19]

Une récente étude réalisée en Suède en 2024 a analysé la prédiction de l'éruption de la troisième molaire mandibulaire et de son redressement à l'aide d'un logiciel d'IA. Pour cela, deux radiographies panoramiques par patient ont été utilisées : la première acquise entre 8 et 15 ans, la deuxième entre 16 et 23 ans.

Cela guiderait le chirurgien-dentiste dans la prise de décision d'extraire ou non les troisièmes molaires d'un patient avant leur éruption totale. [20]

2.4 Développement de la formation : simulateurs haptiques

Durant les études d'odontologie, un des objectifs de l'enseignement préclinique est d'acquérir les compétences de dextérité manuelle qui constituent la base de la dentisterie.

L'intégration de la simulation haptique en réalité virtuelle (VRHS) a été introduite dans le parcours d'apprentissage des étudiants pour la dentisterie restauratrice et est en pleine croissance. [21]

L'entraînement est infini puisqu'un retour en arrière est possible avec des informations synchrones données sur les erreurs effectuées suivies d'une correction. Le nombre de consommables et le temps de supervision peuvent alors être réduits.

Le réalisme de ces VRHS est notamment dû à leur capacité à imiter la sensation tactile comme le fraisage.

Les VRHS montrent leur plus grand potentiel lorsqu'ils sont utilisés dès le début du cursus universitaire, avant de passer sur les simulateurs fantômes. Ils permettent dans un premier temps de ne pas appréhender la tête du patient. [22]

Il a été démontré dans le domaine de l'odontologie pédiatrique que les VRHS ont amélioré de manière significative l'empathie, le comportement du praticien envers le patient, ainsi que l'exécution de l'anesthésie locale. [22]

Cette technologie permet une transition améliorée entre les travaux pratiques et la clinique. Elle n'a pas pour but de remplacer les simulateurs fantômes, mais plutôt de venir en complément. Cela offre une solution innovante pour un avenir prometteur de la formation avec une meilleure acquisition des compétences et un renforcement de confiance pour les étudiants.

Il y a donc une répartition de l'IA dans les différents domaines de la dentisterie avec une prédominance pour la radiologie comme nous pouvons le voir dans le diagramme de Venn ci-dessous. Des relations existent entre les différents domaines. Ces analyses sont intéressantes car elles permettent de comprendre la contribution de l'IA en dentisterie et son intérêt.

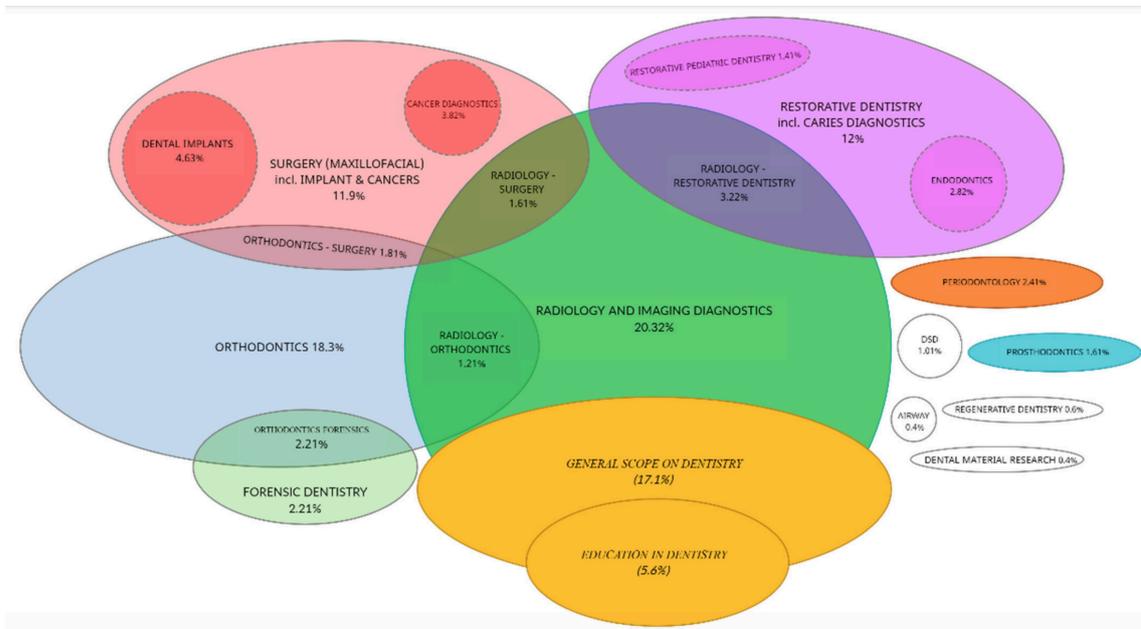


Figure 7. Les différents domaines d'utilisation de l'IA en dentisterie (Andrej Thurzo, 2022)

3. Les différents domaines d'utilisation en odontologie pédiatrique

3.1 Plaque dentaire

La plaque dentaire est un ensemble de bactéries présentes sur la surface des dents. [5] Elle est le précurseur de nombreuses affections bucco-dentaires telles que les maladies carieuse et parodontale.

Lors d'une consultation, il est intéressant de la mettre en évidence afin de la quantifier et de la montrer au patient dans un but de prévention bucco-dentaire.

À l'heure actuelle, les différentes solutions pour mettre en évidence la plaque dentaire sont la collection à la spatule à bouche ou bien des révélateurs de plaque comme le Miradent® ou le Triplaque GC®. Ces méthodes sont simples à réaliser mais parfois peu pratiques avec une coloration des muqueuses buccales et un goût désagréable.

Le recours à l'IA pour l'identification de la plaque est peu connu actuellement. En effet, il existe certaines limites de précision et les résultats d'études [23] varient. La technologie de l'IA pourrait être utilisée par les praticiens mais également par les parents afin de réaliser un contrôle de plaque à la maison. [5]

Une étude a récemment été réalisée en 2024 en Turquie, afin d'évaluer la capacité d'un logiciel d'IA à détecter la plaque dentaire à partir de photographies intrabuccales des dents antérieures avec et sans coloration de plaque. Le modèle d'IA a obtenu des résultats statistiquement meilleurs que le chirurgien-dentiste.[24]

3.2 Évaluation du risque carieux

Selon l'OMS : « *Les caries dentaires apparaissent lorsque la plaque dentaire qui se forme à la surface des dents transforme les sucres libres présents dans les aliments et les boissons en acides qui, au fil du temps, détruisent la dent. Un apport constamment élevé en sucres libres et une exposition inadéquate au fluorure sans élimination régulière de la plaque dentaire par le brossage des dents peuvent entraîner des caries, des douleurs, voire la chute de dents et une infection.* »³

À l'échelle mondiale, 514 millions d'enfants, soit 25%, souffrent de lésions carieuses sur les dents lactéales.³

Une étude sur une population de 615 adolescents a été réalisée au Brésil afin de prédire la présence de lésions carieuses non traitées en fonction de leur mode de vie, à partir de données sur leurs habitudes alimentaires et hygiène bucco-dentaire rentrées dans un logiciel d'IA. [25]

Les variables utilisées étaient l'usage de fil dentaire, la consommation d'aliments cariogènes, l'âge, l'ethnie et l'exposition à l'eau fluorée. En utilisant ces variables, les prédictions étaient correctes à hauteur de 70% de l'échantillon.

Les résultats montraient une prévalence de 25,3% de lésions carieuses non traitées.

Le but de cette utilisation serait de programmer des rendez-vous chez un chirurgien-dentiste plus tôt pour ces adolescents présentant potentiellement des lésions carieuses.

³ <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/oral-health>

3.3 Lecture de clichés radiographiques

3.3.1 Détection de lésions carieuses

Dans une étude de l'Université de Yonsei en 2018, l'IA s'appuie sur des radiographies « *Bitewing* » grâce à une analyse de la structure dentaire et des différences de densité radiographique. Les praticiens étaient plus susceptibles de ne pas remarquer les lésions carieuses initiales sur une radiographie « *Bitewing* » et ont montré une précision moindre que pour les lésions carieuses étendues. Par conséquent, les conseils du logiciel d'IA se sont révélés utiles pour aider les praticiens à détecter les lésions carieuses précoces qui pourraient autrement être manquées par erreur. [26]

Il est également possible grâce à l'IA de relever des lésions carieuses à partir de radiographies panoramiques, avec une dentition temporaire, mixte, ou définitive. [3]

En odontologie pédiatrique la radiographie panoramique est parfois préférée aux radiographies intra-orales qui nécessitent une plus grande coopération de l'enfant.

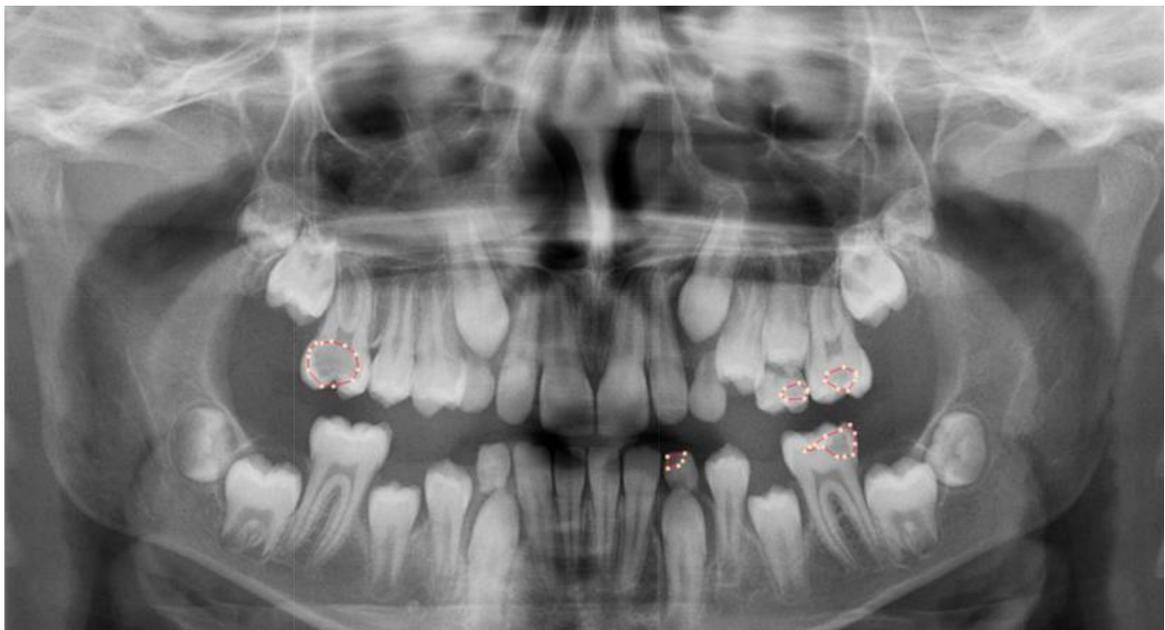


Figure 8. Étiquetage des lésions carieuses sur une radiographie panoramique avec le logiciel Colabeler® (Asci E, 2024)

Cette aide de l'intelligence artificielle pour la détection des lésions carieuses débutantes est dans un premier temps intéressante pour les traiter plus rapidement par des techniques peu ou non invasives comme le vernis fluoré, les scellements thérapeutiques de sillons ; et dans un deuxième temps a un impact économique bénéfique avec une moindre mise en place de traitements onéreux comme les onlays ou les couronnes comme nous pouvons le voir sur la Figure 10 ci-dessous. [27]

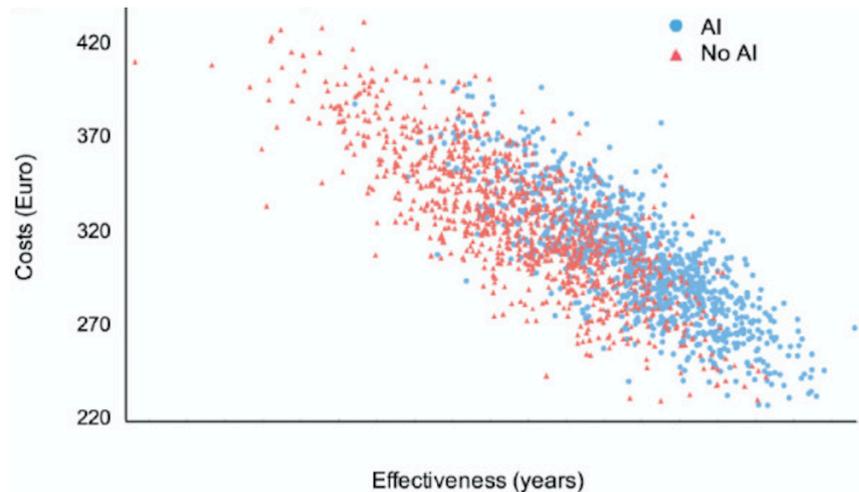


Figure 9. Coût et efficacité de l'utilisation ou non de l'IA pour un échantillon de mille individus (Schwendicke F, 2021)

La détection de lésions carieuses à l'aide de logiciel d'IA sur des radiographies est donc possible sur des radiographies rétro alvéolaires, « *Bitewing* », CBCT, et la méthode la plus fréquemment utilisée reste la radiographie panoramique.

Aujourd'hui, la précision et la fiabilité des logiciels d'IA sont supérieures pour les dentitions lactéale et permanente par rapport à la dentition mixte. Le développement des germes des dents permanentes et la résorption radiculaire des dents lactéales peuvent impacter la clarté de l'image radiographique. [3]

3.3.2 *Mésiodens et dents surnuméraires*

Le terme « mésiodens » désigne une dent surnuméraire située entre les deux incisives centrales maxillaires. Il s'agit du type de dent surnuméraire le plus fréquemment rencontré avec une prévalence de 1,24%. [28]

Les mésiodens peuvent causer diverses complications, telles des kystes dentigères, des résorptions radiculaires des dents permanentes adjacentes, des troubles d'éruption des incisives maxillaires, une rotation, un diastème ou un encombrement. Il est donc important de savoir les diagnostiquer et sont souvent négligés. [29]

Le diagnostic des dentures mixtes, et encore plus des mésiodens et dents surnuméraires est complexe. Actuellement nous disposons de la radiographie panoramique et du CBCT, bien que ce dernier doive être utilisé avec modération chez les enfants dû à sa plus forte irradiation.

En denture mixte, la lecture d'une radiographie panoramique est assez fastidieuse avec l'accumulation des dents lactéales et des dents permanentes ainsi que l'image de la région antérieure qui n'est pas toujours très nette avec un flou, une distorsion et parfois une superposition de structures. En raison de ces difficultés, un dentiste peu habitué au diagnostic des mésiodens et dents surnuméraires peut passer à côté d'informations importantes. [29]

Une étude menée en 2021 à l'Université de Yonsei en Corée du Sud a analysé 612 radiographies panoramiques réalisées entre 2017 et 2021 qui regroupait les trois types de dentures (temporaires, mixtes, permanentes) présentant un mésiodens. [29]

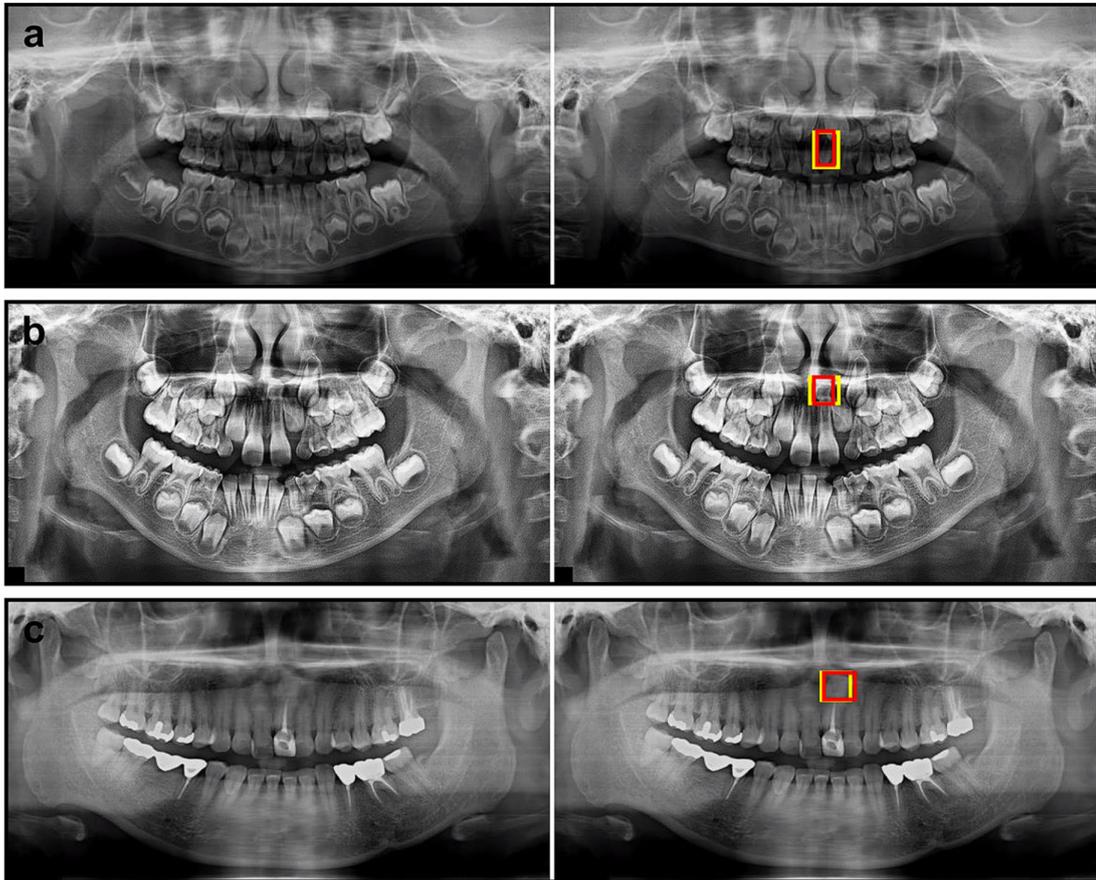


Figure 10. Exemples de mésiodens correctement détectés en dentition temporaire (a), en dentition mixte (b) et en dentition permanente (c), à gauche les images d'entrée et à droite les images de sortie (Ha EG, 2021)

La Figure 11 ci-dessus représente des cas de radiographies panoramiques avec mésiodens correctement détectés. Le mésiodens annoté par le radiologue est indiqué par la boîte jaune et le mésiodens détecté par le logiciel d'IA est indiqué par la boîte rouge.

Les cas de détection de faux positifs et négatifs incorrects étaient confondus avec le germe dentaire succédant, l'épine nasale antérieure et l'aile du nez.

Avec une précision, une sensibilité et une spécificité supérieure à 95%, cette étude révèle l'efficacité du modèle d'IA pour détecter des mésiodens sur radiographies panoramiques. Cela pourrait avoir un impact sur la pratique clinique, permettant une détection plus rapide et plus précise conduisant à des interventions plus précoces et à une réduction des complications potentielles. [29]

Des logiciels d'IA ont donc le potentiel de détecter les dents surnuméraires maxillaires incluses sur les radiographies panoramiques, tant en denture permanente qu'en denture mixte ou lactéale. Les germes des dents permanentes sont aussi détectables. [29]

3.3.3 Numérotation des dents temporaires

La détection et la numérotation des dents temporaires à l'aide de radiographies panoramiques sont les premières étapes du diagnostic dentaire chez l'enfant.

Dans une étude menée en Turquie en 2021, parmi les 46 radiographies panoramiques test, sur les 856 dents, il y a eu 804 vrais positifs (dents correctement détectées et numérotées), 36 faux positifs (dents correctement détectées mais mal numérotées) et 16 faux négatifs (dents mal détectées et numérotées). [30]

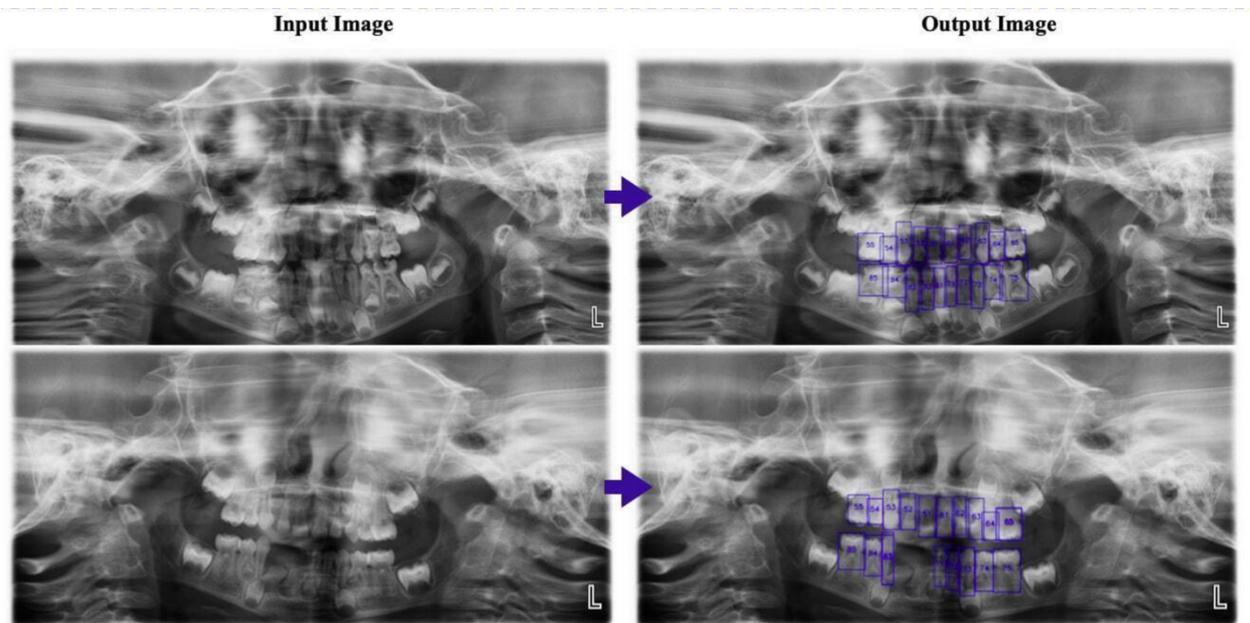


Figure 11. Détection et numérotation des dents lactéales sur des radiographies panoramiques pédiatriques à l'aide du modèle d'intelligence artificielle CranioCatch® (Kilic MC, 2021)

Cette nouvelle approche permet un gain de temps et de précision pour le dentiste mais permet également d'ouvrir la voie de la dentisterie médico-légale numérique. [30]

3.3.4 Détection des dents manquantes

Un autre modèle d'intelligence artificielle a été conçu pour détecter les dents manquantes sur les radiographies panoramiques. [31]

Les dents manquantes peuvent être la conséquence d'une agénésie, d'un traumatisme, d'une lésion carieuse, de traitement orthodontique ou d'autres facteurs. [32]

L'absence ou la perte de dents peut engendrer des problèmes tels que des versions des dents adjacentes, des égressions des dents antagonistes, un coefficient masticatoire réduit, des malocclusions, des difficultés de langage. Anticiper et gérer le diagnostic des dents manquantes est donc nécessaire.

Dans une étude réalisée en Corée en 2023, la radiographie panoramique a été décomposée en quatre quadrants pour une meilleure lisibilité comme nous pouvons voir sur la Figure 13 ci-dessous. [31]

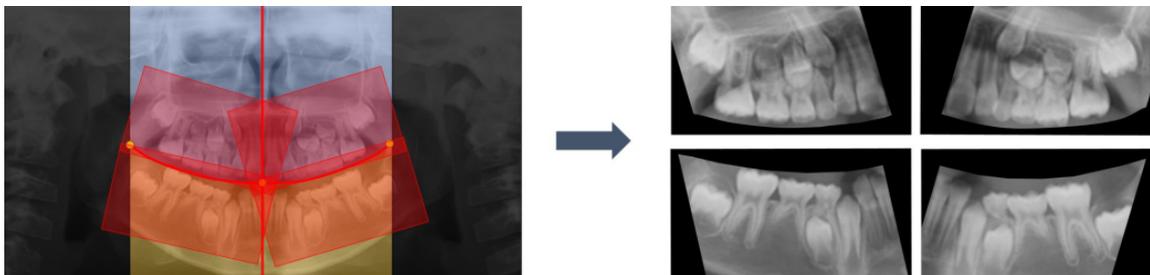


Figure 12. Radiographie panoramique séparée en quatre quadrants par le logiciel d'IA (Eunjin K, 2024)

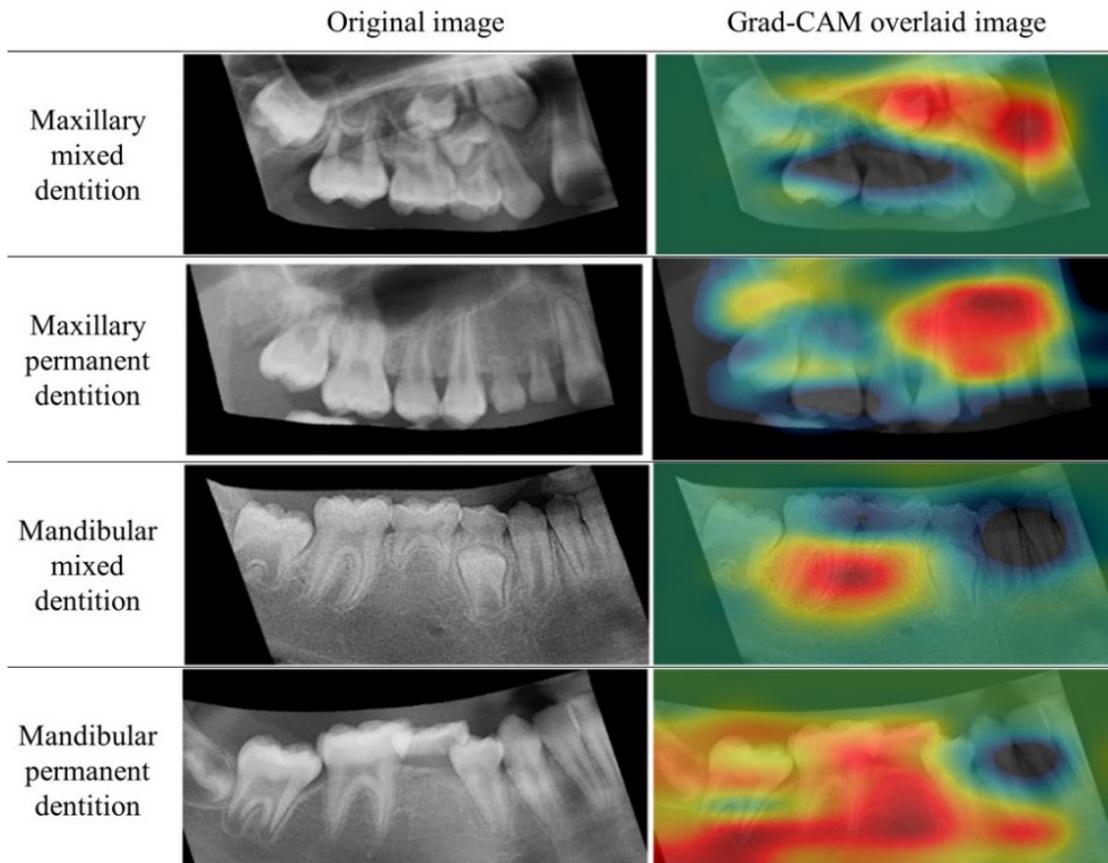


Figure 13. Lecture de la radiographie panoramique par le logiciel d'IA avec une zone rouge montrant une dent manquante (Eunjin K, 2024)

La Figure 14 ci-dessus nous présente des quadrants de radiographies panoramiques analysés par le logiciel d'IA, les zones présentant une ou plusieurs dents manquantes sont marquées en rouge.

La précision était plus élevée pour les canines et les prémolaires manquantes, cependant, pour les troisièmes molaires la précision était moindre avec plus de faux positifs. L'insuffisance de données d'entraînement peut en être la cause. La probabilité moyenne de classification correcte de dents manquantes était de 73%. [31]

3.4 Réalité virtuelle et réalité augmentée

Les technologies basées sur l'IA comme la réalité virtuelle et la réalité augmentée atténuent la peur et l'anxiété en créant des expériences immersives pendant les séances de soins, cela facilite et améliore l'expérience des patients. [33]

La réalité augmentée superpose des informations numériques au monde physique tandis que la réalité virtuelle génère des environnements immersifs et simulés.

Ils sont donc de puissants outils de distraction et d'engagement pendant les soins et aident à créer un environnement positif et confortable.

L'IA contribue donc à rendre les soins moins intimidants et à détourner l'attention de l'enfant en odontologie pédiatrique.

Il est essentiel de maintenir un continuum d'interactions entre le dentiste, les assistantes, l'enfant et les parents, en mettant l'accent sur la communication et l'éducation. [33]

3.5 Évaluation du besoin de traitement orthodontique

La morbidité associée aux malocclusions a augmenté. Les traitements orthodontiques peuvent être classés en traitement nécessitant une ou plusieurs extractions ou non. La décision d'extraire repose principalement sur des facteurs tels que les mesures de moulage, la céphalométrie et la croissance. Elle nécessite une analyse multifactorielle, qui inclut souvent les expériences cliniques de l'orthodontiste. [34]

De plus, une prédiction précise de la croissance mandibulaire permettrait au praticien d'améliorer le diagnostic, la planification du traitement et ainsi la prise en charge du patient. Cette prédiction est à ce jour rendue difficile par la variabilité interindividuelle, des schémas de croissance variables selon l'âge, un manque de signaux structuraux caractéristiques avant la puberté et l'expérience du praticien. [35]

Dans une étude de Zhang *et al.* réalisée en 2023 en Chine, l'IA a atteint une précision de 85% dans la prévision de l'évolution de la mâchoire d'un enfant présentant un articulé inversé antérieur qui évoluerait vers une promandibulie ou une Classe 1 d'Angle entre 8 et 14 ans. [36]

Cette précision de prédiction surpassait largement celle des orthodontistes juniors qui était de 54,2%. En identifiant plus précisément les cas nécessitant une intervention chirurgicale, ces modèles peuvent contribuer à éviter les échecs de traitement et les récives après chirurgie orthognatique. [35]

3.6 Détection des fractures verticales

La fracture verticale radiculaire est une fracture complète ou incomplète pouvant commencer au tiers apical comme au tiers médian de la racine. Cela s'étend jusqu'au ligament parodontal et des bactéries y sont en constante circulation conduisant à un pronostic défavorable de la dent impactée. [37]

Un diagnostic précoce est essentiel pour éviter une perte osseuse alvéolaire par la suite. Cependant, ce dernier est rendu difficile en raison de l'absence de signe et symptôme.

Les modèles d'IA ont montré une grande précision (sensibilité de 95,9%) dans la détection des fractures verticales radiculaires.

Cette étude a été réalisée avec des dents sans obturation canalaire, or, les fractures verticales radiculaires se produisent généralement avec des dents présentant un traitement endodontique. [37]

3.7 Détection de problèmes parodontaux

La maladie parodontale est une affection multifactorielle qui résulte de la réponse inflammatoire du système immunitaire de l'hôte à plusieurs espèces bactériennes de la cavité buccale. [38] Pour la population jeune, les problèmes parodontaux peuvent être causés par des maladies systémiques, une malnutrition, les hormones, la prise de médicaments, des facteurs locaux tels que la plaque bactérienne, le tartre, les anomalies dentaires et les appareillages orthodontiques. [39]

La détection de perte osseuse est importante dans le diagnostic de parodontite. En utilisant un logiciel d'IA sur des radiographies rétro alvéolaires, une étude a estimé la perte osseuse et sa gravité avec une précision de 83,3%. [40]

Pour estimer la progression de la parodontite, des échantillons salivaires ont été collectés et analysés afin de mesurer le nombre de copies de neuf espèces bactériennes les plus responsables des maladies parodontales. [38]

Avec l'aide de l'IA, les chirurgiens-dentistes peuvent détecter plus tôt les affections parodontales et ainsi prévenir d'autres complications.

Les modèles d'IA pour l'odontologie pédiatrique ont été concentrés sur les lésions carieuses et les mesiodens, comme nous le montre la Figure 15 ci-dessous. Grâce à cela, nous pouvons nous attendre à des améliorations dans la précision du diagnostic et la planification du traitement.

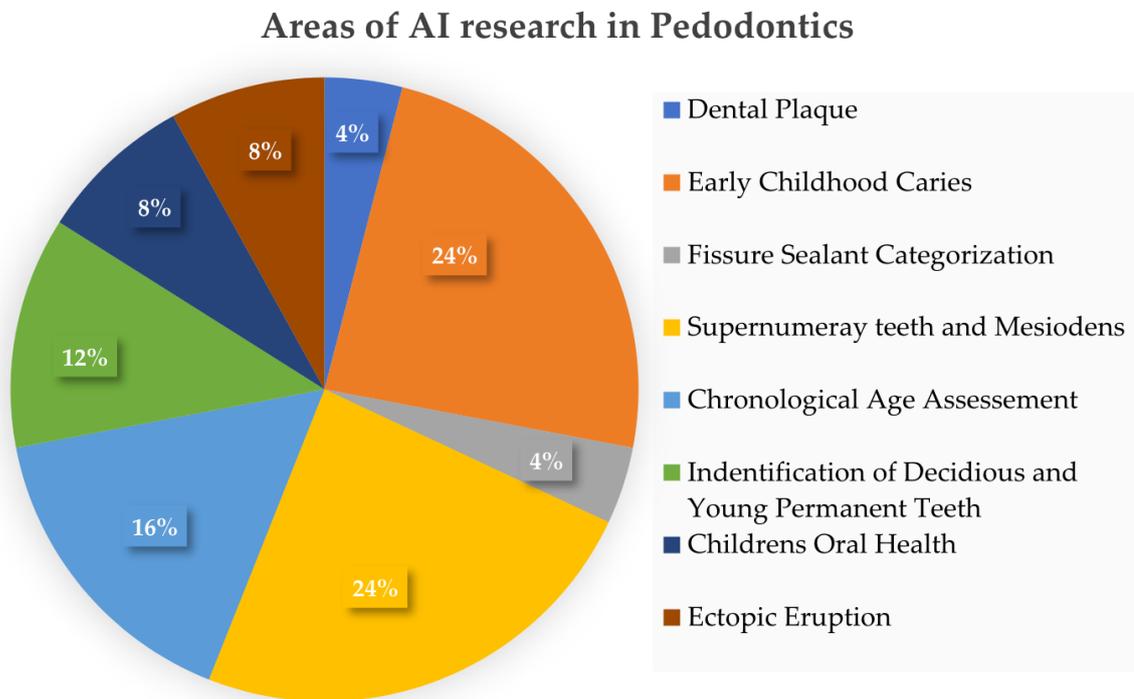


Figure 14. Les différents domaines d'utilisation de l'IA en odontologie pédiatrique (Satish Vishwanathaiah, 2023)

4. La limite de ces nouveaux outils

4.1 La réglementation

À l'heure actuelle, la certification d'un algorithme d'IA pour une utilisation clinique suit en Europe la voie réglementaire des dispositifs médicaux, avec notamment un marquage CE, et aux États-Unis une approbation par la FDA. [41]

En France, l'article L. 4001-3 du code de la santé publique stipule que « *Le professionnel de santé qui décide d'utiliser, pour un acte de prévention, de diagnostic ou de soin, un dispositif médical comportant un traitement de données algorithmique dont l'apprentissage a été réalisé à partir de données massives s'assure que la personne concernée en a été informée et qu'elle est, le cas échéant, avertie de l'interprétation qui en résulte* ». [4]

Il est donc obligatoire d'informer le patient et d'obtenir son consentement libre et éclairé lors de l'utilisation d'algorithmes d'IA.

4.2 La relation praticien/patient

Le recours excessif à l'IA peut nuire à la compassion et éroder la confiance. Cela peut également réduire l'adhésion des patients et encourager l'autodiagnostic. Garantir l'exactitude, la fiabilité et la validité du contenu généré par l'IA nécessite une validation rigoureuse et des mises à jour permanentes basées sur la pratique clinique. [42]

De plus, bien que l'IA nous fournisse des informations précises et efficaces, il lui manque le contact humain et l'empathie qui sont cruciaux dans les interactions avec les patients notamment en bas âge. Les chirurgiens-dentistes doivent rester conscients des besoins émotionnels et veiller à ce que l'IA ne compromette pas les soins envisagés au préalable prenant en compte la situation globale du patient. [43]

4.3 La confidentialité

La collecte, le stockage et le traitement des informations sensibles aux patients soulèvent d'importants problèmes qui doivent être résolus pour garantir la confidentialité et la protection des données personnelles. L'une des préoccupations est la possibilité d'accès non autorisés ou de violations de données. Les informations récoltées par les IA peuvent inclure des antécédents médicaux, des résultats de tests, des diagnostics et d'autres données sensibles. La protection de ces informations est essentielle afin de préserver la vie privée des patients. Des mesures de sécurité régulières telles que le cryptage, les contrôles d'accès et les évaluations régulières des vulnérabilités doivent donc être mise en place par l'utilisateur. [42]

Comme tout traitement de données personnelles, la collecte et l'utilisation de données via un système d'IA doivent respecter le RGPD et le droit à la personne. ⁴

4.4 Limites de la technologie actuelle

Les différentes limites liées à l'IA sont les biais potentiels, le manque de compréhension contextuelle ou l'incapacité à gérer des scénarios médicaux complexes.

Des cas d'erreurs apparentes ont été identifiés dans des rapports de radiologie par ChatGPT. Sur la Figure 15 ci-après, 15 radiologues ont analysé les rapports donnés par ChatGPT, s'avérant factuellement exacts, complets et non potentiellement nocifs pour le patient. Néanmoins, des cas de déclarations incorrectes, d'informations médicales pertinentes manquées et de passages potentiellement dangereux ont été signalés. [44]

⁴ <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/oral-health>

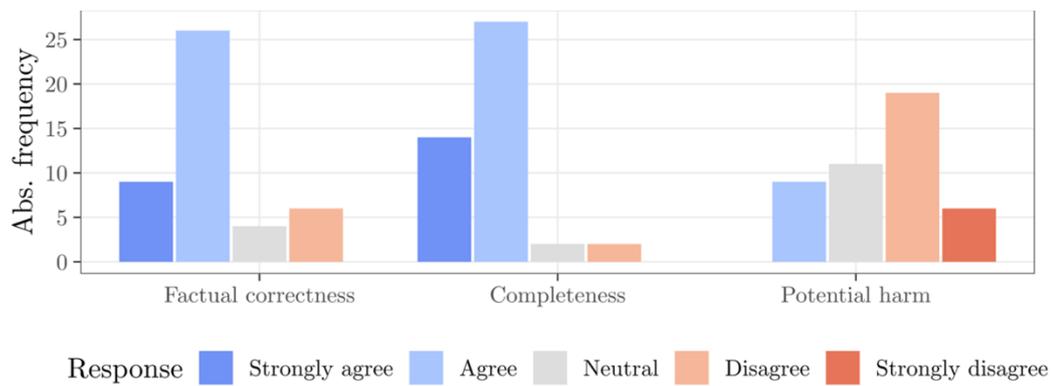


Figure 15. Fréquence de notation des radiologues sur les comptes rendus réalisés par ChatGPT (Katharina Jeblick, 2024)

4.5 La responsabilité

Les systèmes logiciels en tant que tels ne peuvent pas être tenus responsables, contrairement aux individus qui les utilisent ou les conçoivent. Dans ce contexte, la responsabilité des professionnels de santé peut donc être engagée, parce qu'ils n'ont pas pris assez de recul par rapport à un diagnostic rapidement validé, ou à l'inverse, parce qu'ils ont choisi une voie différente de celle suggérée par une IA. [1]

Ces questions de responsabilité qui concernent également les concepteurs ont été abordées lors de la mise en œuvre du règlement européen des IA le 13 mars 2024. Ce règlement a pour rôle d'encadrer le développement de l'IA. Il a été voté par des eurodéputés (523 votes pour, 46 contre, 49 abstentions) et conclu l'accord du Parlement européen et du Conseil de l'Union européenne datant du 8 décembre 2023. ⁵

Le projet de règlement a été officiellement adopté par le Conseil le 17 mai 2024 avec un traité international. ⁵

⁵ <http://www.vie-publique.fr/questions-reponses/292157-intelligence-artificielle-le-cadre-juridique-europeen-de-lia>

Cette proposition de cadre réglementaire poursuit les objectifs suivants :

- veiller à ce que les systèmes d'IA mis sur le marché soient sûrs et respectent la législation en vigueur en matière de droits fondamentaux, les valeurs de l'UE, l'État de droit et la durabilité environnementale,
- garantir la sécurité juridique afin de faciliter les investissements et l'innovation dans le domaine de l'IA,
- renforcer la gouvernance et l'application effective de la législation existante en matière d'exigences de sécurité applicables aux systèmes d'IA et de droits fondamentaux,
- faciliter le développement d'un marché unique pour des applications d'IA légales et sûres, et empêcher la fragmentation du marché.

Le règlement est entré en vigueur 20 jours après sa publication au Journal officiel de l'UE le 12 juillet 2024 et sera pleinement applicable à partir du 2 août 2026.

4.6 La nécessité de formation

Le recours à ces outils rend indispensable le fait que tous les soignants utilisateurs aient une connaissance minimale des principes de fonctionnement de ces systèmes, des principes éthiques et des règlements. Cela doit être rendu obligatoire. [1]

Une nouveauté vient d'être imposée par la délégation du numérique en santé pour toutes les filières d'enseignement en santé à compter de la rentrée 2024 : l'obligation de 28 heures de cours de numérique en santé. Au programme doivent être abordées les données, la cybersécurité, la communication, les outils et la télésanté. C'est un progrès, mais qui, pour le moment, ne porte pas spécifiquement sur l'IA. [1]

Conclusion

À mesure que l'utilisation de l'IA dans l'ensemble du domaine médical augmente, le rôle de l'IA en dentisterie sera grandement élargi. Elle continue de faire l'objet de recherches et de développement.

L'IA a modernisé les aspects traditionnels de la dentisterie, en tant qu'aide complémentaire, elle peut être utilisée de manière contrôlée, en veillant à ce que la touche humaine ne soit pas perdue et en n'oubliant pas que seuls les chirurgiens-dentistes décident des protocoles et prennent les décisions.

Cette technologie est encore peu utilisée en odontologie pédiatrique. Cela peut être dû aux caractéristiques spécifiques telles que la dentition mixte avec différents stades d'éruption, la distorsion de l'image radiographie due à la petite taille de visage, ce qui rend difficile l'apprentissage de l'IA.

La formation des praticiens est encouragée afin de faciliter et de généraliser l'utilisation de l'intelligence artificielle.

Références bibliographiques

1. Bernard Nordlinger, Claude Kirchner, Olivier de Fresnoye. Systèmes d'IA générative en santé : enjeux et perspectives. Académie Natl Médecine. 2024;
2. Khanagar SB, Al-ehaideb A, Maganur PC, Vishwanathaiah S, Patil S, Baeshen HA, et al. Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry – A systematic review. J Dent Sci. 2021;16(1):508-22.
3. Asci E, Kilic M, Celik O, Cantekin K, Bircan HB, Bayrakdar İS, et al. A Deep Learning Approach to Automatic Tooth Caries Segmentation in Panoramic Radiographs of Children in Primary Dentition, Mixed Dentition, and Permanent Dentition. Children. 2024;11(6):690.
4. Dot G, Gajny L, Ducret M. Les enjeux de l'intelligence artificielle en odontologie. médecine/sciences. 2024;40(1):79-84.
5. Vishwanathaiah S, Fageeh HN, Khanagar SB, Maganur PC. Artificial Intelligence Its Uses and Application in Pediatric Dentistry: A Review. Biomedicines. 2023;11(3):788.
6. Kaul V, Enslin S, Gross SA. History of artificial intelligence in medicine. Gastrointest Endosc. 2020;92(4):807-12.
7. Moran ME. Evolution of robotic arms. J Robot Surg. 2007;1(2):103-11.
8. Weiss S, Kulikowski CA, Safir A. Glaucoma consultation by computer. Comput Biol Med. 1978;8(1):25-40.
9. Comendador BEV, Francisco BMB, Medenilla JS, Nacion SMT, Serac TBE. Pharmabot: A Pediatric Generic Medicine Consultant Chatbot. J Autom Control Eng. 2015;3(2):137-40.
10. Thurzo A, Urbanová W, Novák B, Czako L, Siebert T, Stano P, et al. Where Is the Artificial Intelligence Applied in Dentistry? Systematic Review and Literature Analysis. Healthcare. 2022;10(7):1269.
11. Grégoire J, Gilon C, Carlier S, Bersini H. The potential of artificial intelligence in medical decision making. Rev Med Brux. 2022;43(3):265-73.

12. Hindelang M, Sitaru S, Zink A. Transforming Health Care Through Chatbots for Medical History-Taking and Future Directions: Comprehensive Systematic Review. *JMIR Med Inform.* 2024;
13. Kusuhara H. How Far Should We Go? Perspective of Drug-Drug Interaction Studies in Drug Development. *Drug Metab Pharmacokinet.* 2014;29(3):227-8.
14. Rohani N, Eslahchi C. Drug-Drug Interaction Predicting by Neural Network Using Integrated Similarity. *Sci Rep.* 2019;9:13645.
15. Bağ İ, Bilgir E, Bayrakdar İŞ, Baydar O, Atak FM, Çelik Ö, et al. An artificial intelligence study: automatic description of anatomic landmarks on panoramic radiographs in the pediatric population. *BMC Oral Health.* 2023;23:764.
16. Hamdan MH, Tuzova L, Mol A, Tawil PZ, Tuzoff D, Tyndall DA. The effect of a deep-learning tool on dentists' performances in detecting apical radiolucencies on periapical radiographs. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2022;51(7):20220122.
17. Güneç HG, Ürkmez EŞ, Danacı A, Dilmaç E, Onay HH, Cesur Aydın K. Comparison of artificial intelligence vs. junior dentists' diagnostic performance based on caries and periapical infection detection on panoramic images. *Quant Imaging Med Surg.* 2023;13(11):7494-503.
18. Lee SJ, Chung D, Asano A, Sasaki D, Maeno M, Ishida Y, et al. Diagnosis of Tooth Prognosis Using Artificial Intelligence. *Diagnostics.* 2022;12(6):1422.
19. Hung M, Xu J, Lauren E, Voss MW, Rosales MN, Su W, et al. Development of a recommender system for dental care using machine learning. *SN Appl Sci.* 2019;1(7):785.
20. Chopra S, Vranckx M, Ockerman A, Östgren P, Krüger-Weiner C, Benchimol D, et al. A retrospective longitudinal assessment of artificial intelligence-assisted radiographic prediction of lower third molar eruption. *Sci Rep.* 2024;14:994.
21. Daud A, Matoug-Elwerfelli M, Khalid A, Ali K. The impact of virtual reality haptic simulators in pre-clinical restorative dentistry: a qualitative enquiry into dental students' perceptions. *BMC Oral Health.* 2024;24:988.

22. Philip N, Ali K, Duggal M, Daas H, Nazzal H. Effectiveness and Student Perceptions of Haptic Virtual Reality Simulation Training as an Instructional Tool in Pre-Clinical Paediatric Dentistry: A Pilot Pedagogical Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(5):4226.
23. You W, Hao A, Li S, Wang Y, Xia B. Deep learning-based dental plaque detection on primary teeth: a comparison with clinical assessments. *BMC Oral Health*. 2020;20:141.
24. Yüksel B, Özveren N, Yeşil Ç. Evaluation of Dental Plaque Area with Artificial Intelligence Model. *Niger J Clin Pract*. 2024;27(6):759.
25. Bomfim RA. Machine learning to predict untreated dental caries in adolescents. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):316.
26. Lee S, Oh S il, Jo J, Kang S, Shin Y, Park J won. Deep learning for early dental caries detection in bitewing radiographs. *Sci Rep*. 2021;11(1):16807.
27. Schwendicke F, Rossi JG, Göstemeyer G, Elhennawy K, Cantu AG, Gaudin R, et al. Cost-effectiveness of Artificial Intelligence for Proximal Caries Detection. *J Dent Res*. 2021;100(4):369-76.
28. Zhao L, Liu S, Zhang R, Yang R, Zhang K, Xie X. Analysis of the distribution of supernumerary teeth and the characteristics of mesiodens in Bengbu, China: a retrospective study. *Oral Radiol*. 2021;37(2):218-23.
29. Ha EG, Jeon KJ, Kim YH, Kim JY, Han SS. Automatic detection of mesiodens on panoramic radiographs using artificial intelligence. *Sci Rep*. 2021;11(1):23061.
30. Kılıc MC, Bayrakdar IS, Çelik Ö, Bilgir E, Orhan K, Aydın OB, et al. Artificial intelligence system for automatic deciduous tooth detection and numbering in panoramic radiographs. *Dentomaxillofacial Radiol*. 2021;50(6):20200172.
31. Eunjin K, Jae Joon H, BongHae C, Eungyung L, Jonghyun S. Classification of presence of missing teeth in each quadrant using deep learning artificial intelligence on panoramic radiographs of pediatric patients. *J Clin Pediatr Dent*. 2024;48(3):76.
32. Al-Ani AH, Antoun JS, Thomson WM, Merriman TR, Farella M. Hypodontia: An Update on Its Etiology, Classification, and Clinical Management. *BioMed Res Int*. 2017;2017:9378325.

33. Role of artificial intelligence in behavior management of pediatric dental patients—a mini review. *J Clin Pediatr Dent.* 2024;48(3):24.
34. Xie X, Wang L, Wang A. Artificial Neural Network Modeling for Deciding if Extractions Are Necessary Prior to Orthodontic Treatment. *Angle Orthod.* 2010;80(2):262-6.
35. Brouchet E, Brondeau F de, Boileau MJ, Makaremi M. Apport de l'intelligence artificielle dans la prévision de croissance mandibulaire : revue systématique de la littérature. *Rev Orthopédie Dento-Faciale.* 2024;58(2):185-209.
36. Zhang JN, Lu HP, Hou J, Wang Q, Yu FY, Zhong C, et al. Deep learning-based prediction of mandibular growth trend in children with anterior crossbite using cephalometric radiographs. *BMC Oral Health.* 2023;23:28.
37. Yang P, Guo X, Mu C, Qi S, Li G. Detection of vertical root fractures by cone-beam computed tomography based on deep learning. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2023;52(3):20220345.
38. Kim EH, Kim S, Kim HJ, Jeong H oh, Lee J, Jang J, et al. Prediction of Chronic Periodontitis Severity Using Machine Learning Models Based On Salivary Bacterial Copy Number. *Front Cell Infect Microbiol.* 2020;10:571515.
39. Mummolo S, Quinzi V, Marchetti E, Pizzolante T, Americo LM, Bizzarro S. Periodontology Part 4: Periodontal disease in children and adolescents. *Eur J Paediatr Dent.* 2022;23(4):332-5.
40. Danks RP, Bano S, Orishko A, Tan HJ, Moreno Sancho F, D'Aiuto F, et al. Automating Periodontal bone loss measurement via dental landmark localisation. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2021;16(7):1189-99.
41. Muehlematter UJ, Daniore P, Vokinger KN. Approval of artificial intelligence and machine learning-based medical devices in the USA and Europe (2015–20): a comparative analysis. *Lancet Digit Health.* 2021;3(3):e195-203.
42. Wang C, Liu S, Yang H, Guo J, Wu Y, Liu J. Ethical Considerations of Using ChatGPT in Health Care. *J Med INTERNET Res.* 2023;
43. Coghlan S. Robots and the Possibility of Humanistic Care. *Int J Soc Robot.* 2022;14(10):2095.

44. Jeblick K, Schachtner B, Dexl J, Mittermeier A, Stüber AT, Topalis J, et al. ChatGPT makes medicine easy to swallow: an exploratory case study on simplified radiology reports. *Eur Radiol.* 2024;34(5):2817-25.

Tables des illustrations

Figure 1. Aspects de l'intelligence artificielle (Khanagar SB, 2021).....	16
Figure 2. Nombre d'articles publiés par an sur l'IA en dentisterie entre 2011 et 2021 (Thurzo A, 2022)	18
Figure 3. Images positives réelles et prédictives des repères anatomiques de radiographies panoramiques pédiatriques (Bag I, 2023)	21
Figure 4. Le résultat de l'estimation du modèle d'IA pour tous les points de repère d'une image panoramique (Bag I, 2023).....	22
Figure 5. Détection de lésions péri-apicales par des dentistes et l'IA (Gü nec HG, 2023)	23
Figure 6. Les dix-sept paramètres clés pour déterminer le pronostic dentaire (Sang J. Lee, 2022)	24
Figure 7. Les différents domaines d'utilisation de l'IA en dentisterie (Andrej Thurzo, 2022)	26
Figure 8. Étiquetage des lésions carieuses sur une radiographie panoramique avec le logiciel Colabeler® (Asci E, 2024)	29
Figure 10. Coût et efficacité de l'utilisation ou non de l'IA pour un échantillon de mille individus (Schwendicke F, 2021)	30
Figure 11. Exemples de mésiodens correctement détectés en dentition temporaire (a), en dentition mixte (b) et en dentition permanente (c), à gauche les images d'entrée et à droite les images de sortie (Ha EG, 2021)	32
Figure 12. Détection et numérotation des dents lactéales sur desradiographies panoramiques pédiatriques à l'aide du modèle d'intelligence artificielle CranioCatch® (Kilic MC, 2021).....	33
Figure 13. Radiographie panoramique séparée en quatre quadrants par le logiciel d'IA (Eunjin K, 2024)	34
Figure 14. Lecture de la radiographie panoramique par le logiciel d'IA avec une zone rouge montrant une dent manquante (Eunjin K, 2024).....	35
Figure 15. Les différents domaines d'utilisation de l'IA en odontologie pédiatrique (Satish Vishwanathaiah, 2023)	38
Figure 16. Fréquence de notation des radiologues sur les comptes rendus réalisés par ChatGPT (Katharina Jeblick, 2024).....	41

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année 2025 –

L'apport de l'intelligence artificielle en odontologie pédiatrique / **Cyrielle OBIN.**
- p. (51) : ill. (16) ; réf. (44).

**Domaines : Odontologie Pédiatrique – Imagerie et Radiologie –
Odontologie conservatrice**

Mots clés Libres : Intelligence Artificielle, Apprentissage profond, Informatique, Déontologie et Législation

Résumé de la thèse en français

L'intérêt pour l'intelligence artificielle en dentisterie ne cesse d'accroître avec une évolution exponentielle de publications d'articles ces dernières années.

Elle constitue une aide complémentaire au chirurgien-dentiste dans l'analyse d'images radiographiques, l'élaboration du diagnostic et également la décision de traitement. En odontologie pédiatrique, elle est utile dans plusieurs domaines comme la détection de lésions carieuses, de mesiodens et dents surnuméraires, de lésions péri-apicales ou encore de numérotation de dents.

L'utilisation de l'IA est de plus en plus encadrée par des lois européennes afin de garantir un usage correct notamment au sujet de la confidentialité des données.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Philippe BOITELLE

Assesseurs : Monsieur le Docteur Thomas TRENTESAUX

Monsieur le Docteur Thomas MARQUILLIER

Madame le Docteur Caroline DUHAMEL