



HAL
open science

L'intelligence artificielle en radiologie dentaire : une revue systématique de la littérature

Jules Le Cleuziat

► **To cite this version:**

Jules Le Cleuziat. L'intelligence artificielle en radiologie dentaire : une revue systématique de la littérature. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03257117

HAL Id: dumas-03257117

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03257117>

Submitted on 10 Jun 2021

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.

THÈSE D'EXERCICE / UNIVERSITÉ DE RENNES 1
sous le sceau de l'Université Bretagne Loire

Thèse en vue du
DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

présentée par

Jules LE CLEUZIAT

né le 30 septembre 1996 à Ploemeur

**L'intelligence
artificielle en
radiologie dentaire :
une revue
systématique de la
littérature**

**Thèse soutenue à Rennes
le 09 juillet 2020**

devant le jury composé de :

Valérie BERTAUD-GOUNOT
PU-PH – UFR Odontologie Rennes / Présidente du jury

Fleur MEARY
MCU-PH – UFR Odontologie Rennes / Directrice de thèse

Caroline BOLLE
MCU-PH – UFR Odontologie Rennes / Examineur

Brice CHAUVEL
MCU-PH – UFR Odontologie Rennes / Examineur

CORPS ENSEIGNANT U.F.R. ODONTOLOGIE

Responsable de discipline

Section 56 : Développement, croissance et prévention

Sous-section 56-01 Odontologie pédiatrique et orthopédie dento-faciale :

Discipline Odontologie pédiatrique

SIXOU Jean-Louis	<i>Professeur des universités - Praticien hospitalier</i>
MARIE-COUSIN Alexia	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
LARADH Imen	<i>Assistante hospitalier universitaire</i>

Discipline Orthopédie dento-faciale

SOREL Olivier	<i>Professeur des universités - Praticien hospitalier</i>
BREZULIER Damien	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
ALLEREAU Béatrice	<i>Assistante hospitalier universitaire</i>
NAAIM Mohamed	<i>Assistant hospitalier universitaire</i>
CONTAMINE Marie	<i>Assistant hospitalier universitaire</i>

Sous-section 56-02 Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale

BERTAUD-GOUNOT Valérie	<i>Professeur des universités - Praticien hospitalier</i>
PRIGENT Hervé	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
COUATARMANACH Antoine	<i>Assistant hospitalier universitaire (temps plein)</i>
MAYOROVA Nadège	<i>Assistante hospitalier universitaire</i>

Section 57 : Chirurgie orale ; parodontologie ; biologie orale

Sous-section 57-01 Chirurgie orale ; parodontologie ; biologie orale :

Discipline Chirurgie orale

LEJEUNE-CAIRON Sophie	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
LIMBOUR Patrick	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
BADER Gérard	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
DULONG Arnaud	<i>Assistant hospitalier universitaire</i>
MURDEN Kristen	<i>Assistant hospitalier universitaire</i>

Discipline Parodontologie

JEANNE Sylvie	<i>Professeur des universités - Praticien hospitalier</i>
BOLLE Caroline	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
NOVELLO Solen	<i>Assistante hospitalier universitaire (temps plein)</i>
ALTHYAB Amr	<i>Assistant universitaire associé</i>

Discipline Biologie orale

BONNAURE-MALLET Martine	<i>Professeur des universités - Praticien hospitalier</i>
MEURIC Vincent	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
BOYER Emile	<i>Maître de conférences des universités - Associé</i>
CHATHOTH Kanchana	<i>Assistant universitaire associé</i>

Section 58 : Réhabilitation orale :

Sous-section 58-01 Dentisterie restauratrice, endodontie, prothèses, fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux :

Discipline Dentisterie restauratrice, endodontie

DAUTEL Anne	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
LE GOFF Anne	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
TURPIN Yann-Loïg	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
PERARD Matthieu	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
LE CLERC Justine	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
BINET Sophie	<i>Assistant hospitalier universitaire</i>
VO VAN Thomas	<i>Assistant hospitalier universitaire</i>
LE MOUROUX Rozenn	<i>Assistant hospitalier universitaire</i>
GASTINEAU Richard	<i>Assistant hospitalier universitaire</i>

Discipline Prothèses

(Mobilité) BEDOUIN Yvan	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
CHAUVEL Brice	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
RAVALEC Xavier	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
PERRIGAULT Sébastien	<i>Assistant hospitalier universitaire</i>
LE BEVER Pierre	<i>Assistant hospitalier universitaire</i>
GOUBIN William	<i>Assistant hospitalier universitaire</i>
LEFRANCOIS Etienne	<i>Assistant hospitalier universitaire (temps plein)</i>
RAVALEC Paul	<i>Assistant hospitalier universitaire</i>
DESCLOS-THEVENIAU Marie	<i>Assistant hospitalier universitaire (temps plein)</i>

Discipline Fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux

CATHELINAEU Guy	<i>Professeur des universités - Praticien hospitalier</i>
CHAUVEL-LEBRET Dominique	<i>Professeur des universités - Praticien hospitalier</i>
MEARY Fleur	<i>Maître de conférences des universités - Praticien hospitalier</i>
MELOU Caroline	<i>Assistant hospitalier universitaire (temps plein)</i>

Enseignants autres sections

Section 41 - Sciences biologiques

TAMANAI-SHACOORI Zohreh	<i>Maître de conférences des universités</i>
--------------------------------	--

Section 64-65 – Biochimie et biologie moléculaire, biologie cellulaire

GAUTIER-COURTEILLE Carole	<i>Maître de conférences des universités</i>
----------------------------------	--

REMERCIEMENTS

A Madame le Professeur Valérie BERTAUD-GOUNOT,
D'avoir accepté la présidence de ce jury.

A Monsieur le Docteur Brice CHAUVEL,
D'avoir accepté de faire partie du jury.

A Madame le Docteur Caroline BOLLE,
D'avoir accepté de faire partie du jury.

A Madame le Docteur Fleur MEARY,
D'avoir accepté d'encadrer cette thèse.

À ma famille et tout particulièrement à mon père,
D'avoir toujours cru en moi et de m'avoir toujours soutenu dans tous mes projets.

À tous mes amis de la faculté dentaire,
Pour toutes les semaines en Corse ou dans les Alpes, les week-ends à Saint-Cast, Crozon, Bignan, Deauville, Bayeux et bien d'autres contrées plus charmantes les unes que les autres, les après-midis à la cafétéria ou à l'escalade, les journées de clinique ou de gardes dominicales, les RU Charles-De-Gaulle ou Métronome, les soirées poker ou tarot, les nuits endiablées ou jeu de société...

À la Team Croutons, à la Team Grimpette, à la Team Norbert, à tous mes acolytes de promotion... *Merci d'avoir rendu toutes ces années incroyables.*

À tous mes amis Lorientais,
Toujours un vrai plaisir de vous avoir à mes côtés après toutes ces années de maternelle, de collège, de lycée ou de surf... Trop de bons souvenirs pour tous les citer, mais je suis sûr que les meilleurs restent à venir.

À Soizic,
A la meilleure des futures médecins, même si je vais devoir patienter encore quelques années avant d'assister à mon tour à sa thèse...

«Je certifie sur l'honneur ne pas avoir repris pour mon compte des propos, citations, ou
illustrations déjà publiés »

TABLE DES MATIERES

RESUME	8
I. INTRODUCTION.....	9
II. MATERIEL ET METHODES.....	11
II.1 Question précise	11
II.2 Stratégie de recherche.....	11
II.3 Critères d'inclusion et de non-inclusion.....	12
II.4 Sélection des articles.....	12
II.5 Collection des données / informations	13
III. RESULTATS	14
III.1 Sélection des articles.....	14
III.2 Classement des articles par thématique.....	15
III.3 Caractéristiques des études	15
III.4 Quelles sont les différentes applications de l'intelligence artificielle pour le chirurgien-dentiste ?.....	16
III.4.1 Types d'images utilisées et variabilité du nombre d'images analysées	16
III.4.2 Standard de référence utilisé pour évaluer la performance de l'IA.....	17
III.4.3 Domaine d'étude et tâches effectuées par l'IA.....	18
IV. DISCUSSION.....	19
V. CONCLUSION.....	23
VI. BIBLIOGRAPHIE	24
VII. ANNEXES	32
VIII. TABLE DES FIGURES.....	37
IX. TABLE DES ABREVIATIONS	38

RESUME

Les publications scientifiques concernant l'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) en radiologie dentaire ont vu leur nombre augmenter ces dernières années.

La littérature actuelle présente des applications potentielles de l'intelligence artificielle mais également des applications cliniques directes dans la pratique radiologique du chirurgien-dentiste.

Les principales tâches effectuées par l'IA sont l'amélioration des données numériques radiographiques, le repérage des dents, la détection de lésions radio-claires, kystes et/ou tumeurs, la localisation de repères céphalométriques et le diagnostic de l'ostéoporose sur panoramique dentaire.

Néanmoins, de nombreuses évolutions sont encore nécessaires afin de pouvoir intégrer l'IA dans le travail quotidien au sein du cabinet dentaire.

I. INTRODUCTION

L'intelligence artificielle (IA), qui n'a pas de définition universellement admise, pourrait être décrite comme un domaine de l'informatique dédié à la création de système exécutant des tâches qui requièrent habituellement l'intelligence humaine (1). Ce domaine en pleine expansion va profondément modifier notre société, notamment dans le secteur de la santé (2).

L'avènement du «big data» qui est défini comme l'ensemble des données numériques produites par l'utilisation des nouvelles technologies, ainsi que l'augmentation exponentielle de la puissance de calcul des ordinateurs a permis une explosion des capacités de l'IA, ce qui en fait une des innovations les plus prometteuses dans le monde médical (3). L'IA s'inscrit déjà dans le présent avec des approbations de logiciels par la FDA (Food and Drug Administration) qui s'accélèrent. On peut citer l'autorisation de mise sur le marché d'un logiciel de détection de la fibrillation auriculaire développé par *Apple* ou encore, en radiologie, d'un logiciel de détection de fracture du poignet provenant d'*Imagen*. Dans le domaine de l'oncologie, la société *Arterys* développe des programmes permettant le diagnostic de cancer du foie et des poumons (4).

En odontologie, des sociétés telles que *Denti.AI* ou encore *Pearl* promettent déjà de réaliser des diagnostics sur des clichés panoramiques afin d'améliorer la rapidité et la qualité des diagnostics du chirurgien-dentiste. D'autres programmes, comme ceux développés par *CephX*, sont davantage destinés à la pratique de l'orthodontiste. Ces logiciels, principalement d'origine nord-américaines, suscitent un engouement important et sont déjà utilisés dans certains cabinets dentaires à travers le monde.

L'utilisation de l'IA en radiologie dentaire repose sur différentes notions imbriquées. L'apprentissage automatique, « machine learning » en anglais, est un champ de l'IA qui se fonde sur des approches mathématiques et statistiques pour donner aux ordinateurs la capacité « d'apprendre » à partir de données. Un grand nombre d'études ont fait état de l'application des modèles de diagnostic de l'IA pour détecter automatiquement des pathologies, comme par exemple la calcification des artères coronaires (5) ou encore prévoir la rétinopathie diabétique (6). L'apprentissage automatique peut prendre la forme de

plusieurs modèles tels que par exemple les machines à vecteur de support, les réseaux de neurones ou encore les arbres de décision. Ces méthodes, qui ont chacune leur propre spécificité, peuvent être également combinées afin d'obtenir différentes variantes et de répondre à la tâche à résoudre.

L'objectif de cette revue de littérature est d'étudier les différents apports de l'intelligence artificielle en radiologie dentaire pour le chirurgien-dentiste.

II. MATERIEL et METHODES

Cette revue systématique de la littérature a été réalisée selon les critères de recherche PRISMA (7)(8).

II.1 Question précise

La question précise à laquelle nous souhaitons répondre est la suivante : « quelles sont les apports de l'intelligence artificielle en radiologie pour le chirurgien-dentiste ? ».

II.2 Stratégie de recherche

Une recherche a été effectuée sur les articles publiés ces cinq dernières années dans les bases de données électroniques PubMed (PM) et ScienceDirect (SD). La recherche a été conduite le 20 janvier 2020 à Rennes.

Les mots-clés et les opérateurs booléens utilisés pour la recherche sur la base de données PubMed, ont été, dans les titres et résumés, indiqués comme suit :

(Artificial Intelligence[Mesh] OR Diagnosis, Computer-Assisted[Mesh] OR Neural Networks (Computer)[Mesh] OR AI OR CNN OR Machine learning OR Deep learning OR Convolutional OR Automatic OR Automated AND Radiology[Mesh] AND Dentistry[Mesh])

Les filtres « articles de moins de 5 ans » et « articles concernant l'espèce humaine » ont été appliqués.

Les mots-clés et les opérateurs booléens utilisés pour la recherche sur la base de données Science Direct, ont été dans les titres, résumés et mots-clés indiqués comme suit :

(dentistry AND radiology AND artificial intelligence)

Le filtre suivant a été utilisé : « Années 2015-2020 »

II.3 Critères d'inclusion et de non-inclusion

Pour être inclus dans cette revue, les articles devaient s'intéresser à l'apport de l'intelligence artificielle en radiologie dentaire pour le chirurgien-dentiste.

Les critères d'inclusion étaient les suivants :

- Articles concernant le domaine de l'odontologie.
- Articles concernant le domaine de la radiologie médicale.
- Articles évoquant l'utilisation d'intelligence artificielle.
- Articles pouvant avoir un apport dans la pratique du chirurgien-dentiste.

Les critères d'exclusion étaient les suivants :

- Lettres, abstracts de communication orale ou écrite,
- Articles écrits dans un langage autre que l'anglais,
- Articles publiés il y a plus de 5 ans,
- Revues systématiques de la littérature,
- Articles utilisant l'intelligence artificielle à des fins de recherche,
- Publications s'intéressant à l'imagerie médicale non radiologique

II.4 Sélection des articles

Après suppression des doublons, les deux reviewers (Fleur MEARY et Jules LE CLEUZIAT) ont vérifié de manière indépendante le titre et le résumé des articles afin de vérifier qu'ils correspondaient bien aux différents critères d'inclusion. Les textes intégraux des articles éligibles et disponibles selon les deux reviewers ont été collectés et lus dans leur intégrité. La sélection finale des articles pour cette revue de littérature a été faite par consensus entre les deux reviewers.

II.5 Collection des données / informations

L'ensemble des articles a été trié selon plusieurs thématiques :

- Année de publication
- Pays d'origine de l'article
- Domaine d'étude concerné en odontologie
- Modèle d'IA et architecture utilisée
- Tâche effectuée par l'IA
- Type d'images radiologiques utilisées
- Nombre d'images et/ou radiologies utilisées
- Standard de référence de l'IA

III. RESULTATS

III.1 Sélection des articles

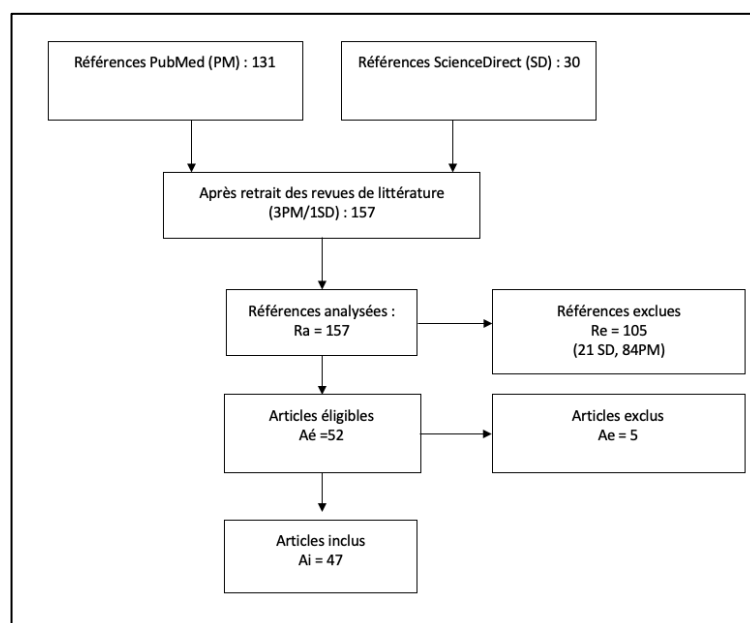
Un total de 131 références dans PubMed (PM) et 30 références dans ScienceDirect (SD) a été obtenu lors de la recherche sur les bases de données avec les mots-clés préalablement cités.

Le retrait des revues de littérature (n=4) a été effectué pour arriver à un total de 157 références analysées. Il n'y avait pas d'article écrit non rédigé en anglais ou d'article en doublon.

Après lecture des titres et des résumés, 105 références ont été exclues car elles ne répondaient pas aux critères d'inclusion, ne s'intéressant pas à la fois à la radiologie dentaire et à l'intelligence artificielle. Les versions textes intégrales des 52 articles ainsi éligibles ont été recueillies et la pertinence de leur inclusion dans l'étude a été contrôlée. Après lecture des textes complets, 5 articles ont été exclus car ils ne répondaient pas aux critères d'inclusion ou n'étaient pas disponibles en version intégrale.

En définitive, 47 articles ont été inclus dans cette revue par consensus entre les deux reviewers et étudiés dans le détail.

Figure 1 : Diagramme de Flow.



III.2 Classement des articles par thématique

Après lecture et analyse, les articles ont été classés dans deux tableaux : un premier selon l'année de publication, l'auteur, le pays d'origine et le modèle d'intelligence artificielle utilisé puis dans un second selon le domaine d'étude, l'auteur, la tâche effectuée, le type d'images, le nombre d'images et le standard de référence utilisé. Les deux tableaux sont disponibles dans la partie « annexes » de la thèse.

III.3 Caractéristiques des études

Les 47 études faisant état de l'application de modèles d'intelligence artificielle ont couvert une période allant de janvier 2015 à janvier 2020.

Figure 2 : Nombre d'articles publiés selon le pays d'origine.

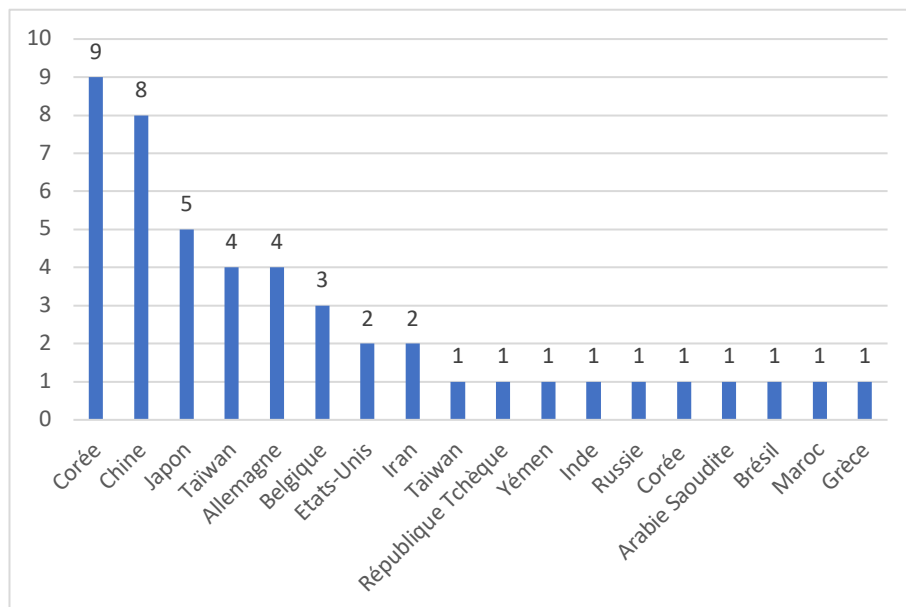
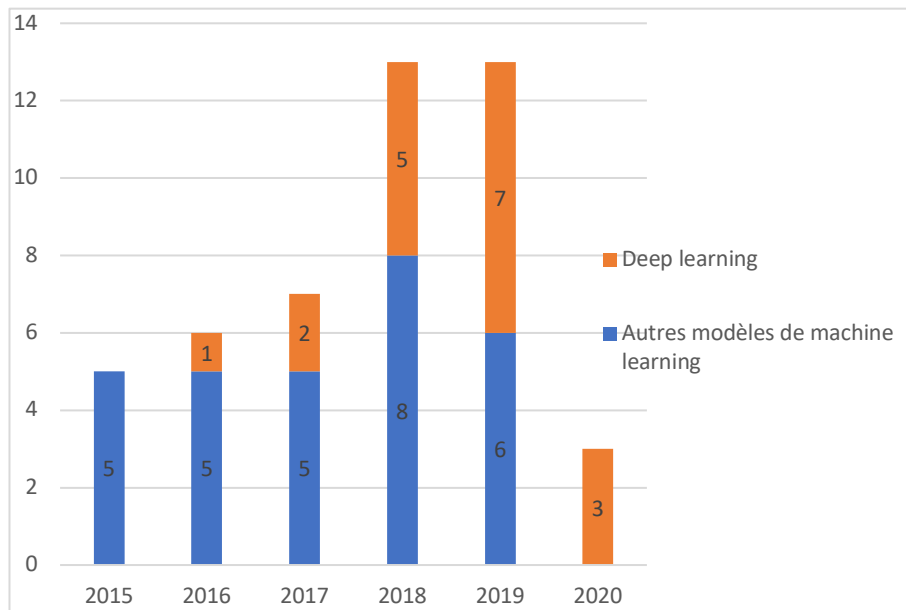


Figure 3 : Répartition des études incluses de 2015 à 2020 en fonction du modèle d'IA utilisé.



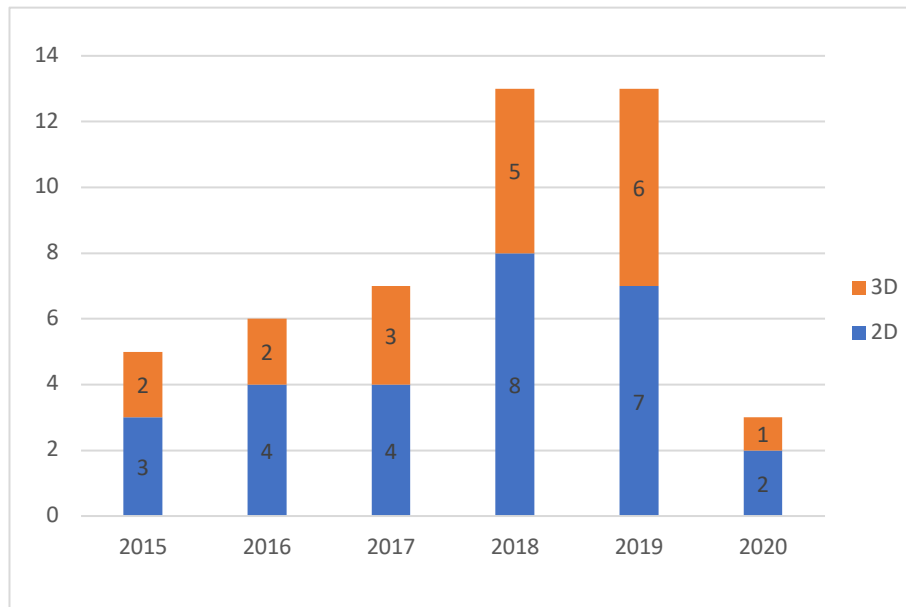
III.4 Quelles sont les différentes applications de l'intelligence artificielle pour le chirurgien-dentiste ?

III.4.1 Types d'images utilisées et variabilité du nombre d'images analysées

Figure 4 : nombre d'articles selon le type d'image analysé (CBCT : Cone Beam Computed Tomography, CT : Computed Tomography)

	Nombre d'articles
Radiographie panoramique	19
CBCT	16
Radiographie céphalométrique	4
Radio rétro-alvéolaire	4
Radiographie céphalométrique et radiographie rétro-coronaire	1
CBCT et radiographie panoramique	1
Radiographie céphalométrique et CBCT	1
CT	1
Total général	47

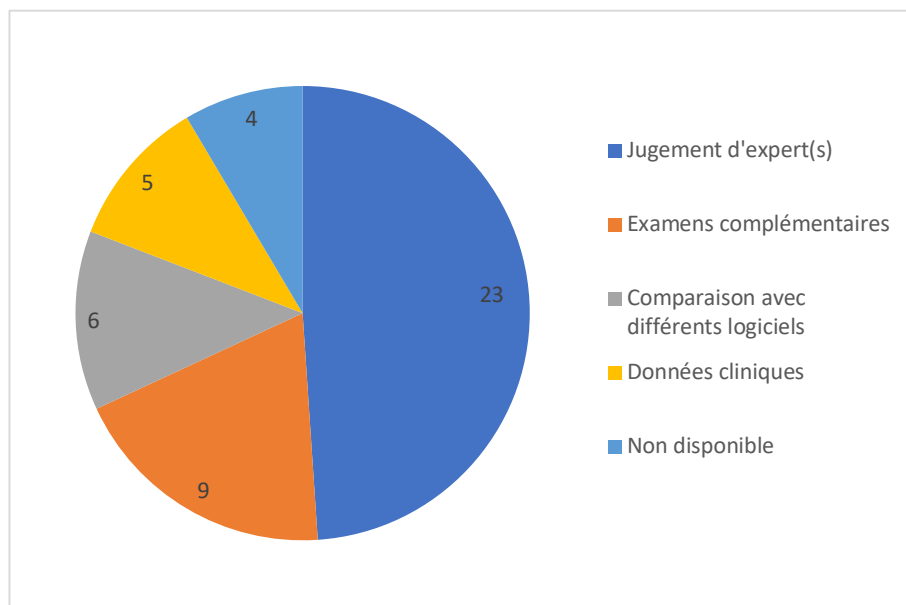
Figure 5 : Répartition des études incluses de 2015 à 2020 selon la modalité d'images (3D : CBCT ou CT ; 2D : Radiographies panoramique, intra-orales, céphalométriques)



La moyenne du nombre d'images utilisé est de 1401,5 (arrondie au dixième) et la médiane est de 141. L'écart-type est de 6338 (arrondie au dixième). Trois études utilisent plus de cinq mille images. Vingt et une études analysent moins de cent images.

III.4.2 Standard de référence utilisé pour évaluer la performance de l'IA

Figure 6 : Nombre d'articles selon le standard de référence utilisé



III.4.3 Domaines d'études et tâches effectuées par l'IA

Figure 7 : Nombre d'études selon le domaine d'application et la tâche effectuée

Nombre d'études selon le domaine d'application et la tâche effectuée	Nombre d'articles
Dentaire	34
Traitement des données numériques (29)(32)(20)(51)(11)(23)(31)(25)	8
Localisation du canal alvéolaire inférieur (16)	1
Détection / Classification du type de dent (54)(22)	2
Détection de caries (40)	1
Classification de la morphologie canalaire (12)	1
Analyse osseuse (33)(35)(37)	3
Identification de perte d'os alvéolaire (18)(49)(30)	3
Détection / Classification de lésions, kystes et/ou tumeurs (13)(27)(38)(39)(41)(48)	6
Classification de l'ostéoarthritis de l'articulation temporo-mandibulaire (15)	1
Mesure / Localisation de repères céphalométriques (43)(34)(14)(9)(26)(24)	6
Évaluation orthodontique (45)(50)	2
Médecine Générale	5
Diagnostic de l'ostéoporose (53)(28)(52)(55)(10)	5
Médecine légale	8
Estimation de l'âge (17)(19)(46)(42)	4
Identification d'une personne (44)(47)	2
Détection / Classification du type de dent (21)(36)	2
Total général	47

IV. DISCUSSION

L'étude a été réalisée dans le but de présenter les principales utilisations potentielles ou réelles de l'IA en radiologie dentaire. Les principales utilisations sont développées pour être utilisées par des chirurgiens-dentistes, mais certaines concernent la médecine légale ou la médecine générale.

Concernant le standard de référence utilisé, dans la majorité des cas, c'est la comparaison à un jugement d'experts qui permet de valider les capacités d'un système d'IA ; quand un critère objectif peut être mesuré ou quantifié, il est utilisé en référence. De manière intéressante, deux articles rapportent l'évaluation concomitante, par des experts, des capacités de plusieurs logiciels (9)(26). A l'inverse, certains articles ne possèdent pas de standard de référence clairement établi permettant d'évaluer leur logiciel (11)(48).

Au sujet des applications devant servir aux chirurgiens-dentistes, un certain nombre d'articles traitent des capacités des logiciels à améliorer les images produites. Si la réduction des artéfacts métalliques (23) en CBCT est en effet souhaitable, l'amélioration de la qualité des panoramiques à cause d'erreurs de positionnement (11) semble moins pertinente sauf éventuellement pour les patients peu compliant. Trois articles proposent des systèmes pour la génération de panoramique à partir d'images CBCT (31)(32)(20). Actuellement, la génération d'image CBCT des arcades maxillaire et mandibulaire est plus irradiante que celle d'une image panoramique. Tant que cela sera le cas, il n'apparaît pas souhaitable, en vertu du principe ALARA, que le CBCT soit utilisé pour générer une image panoramique.

Plusieurs logiciels s'intéressent à la classification et à la reconnaissance des dents (54)(22)(45)(50)(21)(36). Cette étape est en fait un pré-requis au développement de tâches plus complexes comme la détermination de la formule dentaire, la reconnaissance de lésions carieuses, de reconstitutions coronaires, ... Certains logiciels sont déjà capables de réaliser plusieurs de ces tâches (45,50).

Certains logiciels sont entraînés à reconnaître le niveau de la crête osseuse afin de quantifier ensuite la diminution de l'os alvéolaire. D'autres essaient d'évaluer la qualité de l'os alvéolaire (densité des trabéculations osseuses (35)(37), intégration d'un greffon suite à une élévation

de bas-fond sinusien (33)). Les capacités semblent prometteuses et proches de l'utilisation clinique pour ces applications.

Le repérage des lésions radio-claires osseuses seraient une aide pour le chirurgien-dentiste, notamment pour reconnaître des lésions atypiques. A l'heure actuelle, les logiciels sont capables de délimiter une lésion (13)(39), d'apprécier sa taille et son évolution (48), de reconnaître certaines lésions (27)(38)(41). Mais dans la majorité des cas, les images doivent être préparées en amont avant d'être traitées par le logiciel. L'utilisation de ces aides diagnostiques en cabinet dentaire n'est donc pas encore envisageable sans une automatisation complète.

Un logiciel d'IA a été développé pour classifier le degré d'arthrose des condyles mandibulaires. La performance semble prometteuse mais réservée à des spécialistes et sort du champ de compétence du chirurgien-dentiste omnipraticien, notamment du fait de son utilisation en association avec l'analyse de marqueurs biologiques (15).

Enfin, le développement de logiciels capables de réaliser des analyses céphalométriques automatiquement ou semi-automatiquement est prometteur. Le logiciel CephX, qui est déjà commercialisé, propose une méthode semi-automatique où quelques points simples sont déterminés manuellement, puis le logiciel calcule certaines longueurs et angles de l'analyse céphalométrique (34). Les autres logiciels tentent de déterminer automatiquement les points de référence sur les téléradiographies (14, 24,43). La performance des logiciels augmente (9, 26) mais n'atteint pas encore le degré de précision nécessaire (70% contre 90% pour la méthode semi-automatique). Les logiciels d'IA décrits par Wu et Bae s'intéressent quant à eux à déterminer les formes d'arcades ou à analyser le positionnement des dents et des germes dentaires pour la planification des traitements orthodontiques (45,50).

Les autres applications utilisant la radiologie dentaire ont pour but de détecter l'ostéoporose à partir de radiographies panoramiques (53)(28)(52)(55)(10) ou ont une visée médico-légale : l'estimation de l'âge d'un individu (17)(19)(46)(42), l'identification d'une personne à partir d'une radiographie panoramique (44)(47) et la classification du type de dent à des fins médico-légales (21)(36).

La plupart des logiciels, à l'exception de CephX, sont en cours de développement et sont prometteurs pour les chirurgiens-dentistes comme aide à la planification des traitements

et à la détection de pathologies plus ou moins courantes ; néanmoins plusieurs problématiques sont à résoudre avant de pouvoir les utiliser quotidiennement au cabinet dentaire.

Concernant le modèle d'IA et l'architecture utilisée, l'ensemble des articles utilise des systèmes de type « apprentissage automatique » (« machine learning » en anglais). La méthode consiste à « entraîner » le logiciel d'IA à une tâche (reconnaissance de dents ou de points, de structures, ...) en lui soumettant un nombre important d'images, parfois préparées manuellement ; puis, sur d'autres images, à tester sa capacité à effectuer la tâche.

Un peu moins de la moitié des articles utilisent une architecture d'apprentissage profond élaboré à partir de réseaux de neurones artificiels (« deep learning » en anglais) qui est une branche de l'apprentissage automatique.

Cette nouvelle méthode a permis de faire largement progresser la vision par ordinateur et l'utilisation de celle-ci croît au cours des années (56). Cependant, il est, encore aujourd'hui, bien difficile de comprendre leur fonctionnement et cela même pour les concepteurs des logiciels (57). Il est nécessaire d'accroître la compréhension et la confiance dans la technologie afin de permettre un développement clinique et appliqué de l'IA (58).

Dans la majorité des articles, les images utilisées pour l'entraînement et les tests sont issues d'une seule modalité d'imagerie, deux articles seulement utilisent plusieurs appareils d'imagerie (36)(45). La plupart des systèmes d'imagerie actuels génèrent des images au format DICOM, ce qui devrait assurer que les logiciels d'IA puissent traiter les données de tous les appareils utilisant ce format de départ. Néanmoins, cela doit être confirmé.

Si le format de départ est le plus souvent le DICOM, le format de travail des logiciels est ensuite très variable (images bitmap, TIFF, JPEG, ...), certains ont également besoin que l'image soit retravaillée (le plus souvent par découpe) avant de pouvoir leur être soumise.

A terme, une uniformisation des formats sera souhaitable pour garantir leur universalité, leur pérennité dans le temps et le partage des données entre les professionnels de santé.

L'utilisation de l'intelligence artificielle soulève également de nombreuses questions juridiques et éthiques (59). Peu d'articles font d'ailleurs état d'une validation de leur protocole de recherche par un comité d'éthique, certains testant même leur logiciel sur des images issues des chercheurs eux-mêmes ou de volontaires (32)(23). Dans le contexte du développement des dispositifs médicaux utilisant l'IA, la création de logiciels en accord avec

la nouvelle législation européenne sur la protection des données (Règlement Général sur la Protection des Données : RGPD) semble nécessaire pour un développement sûr et utile de cette technologie. Les différents modèles d'IA présentés sont principalement originaires de pays asiatiques. Il semble donc nécessaire d'étendre la recherche dans cette discipline au sein de l'Union Européenne afin de pouvoir proposer des bases de données et des logiciels adaptées aux standards élevés de protection des données de celle-ci. Le rapport rédigé en 2018 par Cédric Villani donne dans ce sens des pistes afin de positionner la France à l'avant-garde dans la recherche en IA.

V. CONCLUSION

La littérature actuelle présente des applications potentielles de l'intelligence artificielle mais également des applications cliniques directes dans la pratique radiologique du chirurgien-dentiste. Les principales tâches effectuées par l'IA sont l'amélioration des données numériques radiographiques, le repérage des dents, la détection de lésions radio-claires, kystes et/ou tumeurs, la localisation de repères céphalométriques et le diagnostic de l'ostéoporose sur panoramique dentaire. Les autres tâches sont développées dans un but médico-légal. Même si des logiciels sont déjà disponibles sur le marché, de nombreuses évolutions sont nécessaires afin de pouvoir intégrer l'IA dans le travail quotidien au sein du cabinet dentaire. Des études complémentaires doivent être réalisées afin de montrer les différents niveaux de preuve des logiciels d'IA. Il est également nécessaire de prendre en compte leur facilité d'utilisation ainsi que leur compréhension de fonctionnement face aux chirurgiens-dentistes. Le cadre légal doit également être pris en compte afin de permettre l'utilisation de logiciels conformes avec les différentes législations.

VI. BIBLIOGRAPHIE

1. Pesapane F, Codari M, Sardanelli F. Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine. *Eur Radiol Exp*. 2018 Oct 24;2(1):35.
2. Bini SA. Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning, and Cognitive Computing: What Do These Terms Mean and How Will They Impact Health Care? *The Journal of Arthroplasty*. 2018 Aug 1;33(8):2358–61.
3. Thompson RF, Valdes G, Fuller CD, Carpenter CM, Morin O, Aneja S, et al. Artificial intelligence in radiation oncology: A specialty-wide disruptive transformation? *Radiother Oncol*. 2018;129(3):421–6.
4. Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nat Med*. 2019;25(1):44–56.
5. Schuhbaeck A, Otaki Y, Achenbach S, Schneider C, Slomka P, Berman DS, et al. Coronary calcium scoring from contrast coronary CT angiography using a semiautomated standardized method. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*. 2015 Sep 1;9(5):446–53.
6. Tsao H-Y, Chan P-Y, Su EC-Y. Predicting diabetic retinopathy and identifying interpretable biomedical features using machine learning algorithms. *BMC Bioinformatics*. 2018 Aug 13;19(Suppl 9):283.
7. Moher D, Shamseer L, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev*. 2015 Jan 1;4:1.

8. Gedda M. Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinésithérapie, la Revue*. 2015 Jan 1;15(157):39–44.
9. 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. *Med Image Anal*. 2016 Jul;31:63–76.
10. Kathirvelu D, Vinupritha P, Kalpana V. A computer aided diagnosis system for measurement of mandibular cortical thickness on dental panoramic radiographs in prediction of women with low bone mineral density. *J Med Syst*. 2019 Apr 22;43(6):148.
11. Du X, Chen Y, Zhao J, Xi Y. A Convolutional Neural Network Based Auto-Positioning Method For Dental Arch In Rotational Panoramic Radiography. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2018 Jul;2018:2615–8.
12. Hiraiwa T, Arijji Y, Fukuda M, Kise Y, Nakata K, Katsumata A, et al. A deep-learning artificial intelligence system for assessment of root morphology of the mandibular first molar on panoramic radiography. *Dentomaxillofac Radiol*. 2019 Mar;48(3):20180218.
13. Alsmadi MK. A hybrid Fuzzy C-Means and Neutrosophic for jaw lesions segmentation. *Ain Shams Engineering Journal*. 2018 Dec 1;9(4):697–706.
14. Ed-Dhahraouy M, Riri H, Ezzahmouly M, Bourzgui F, El Moutaoukkil A. A new methodology for automatic detection of reference points in 3D cephalometry: A pilot study. *Int Orthod*. 2018 Jun;16(2):328–37.

15. de Dumast P, Mirabel C, Cevidanes L, Ruellas A, Yatabe M, Ioshida M, et al. A web-based system for neural network based classification in temporomandibular joint osteoarthritis. *Computerized Medical Imaging and Graphics*. 2018 Jul 1;67:45–54.
16. Bahrapour E, Zamani A, Kashkouli S, Soltanimehr E, Ghofrani Jahromi M, Sanaeian Pourshirazi Z. Accuracy of software designed for automated localization of the inferior alveolar nerve canal on cone beam CT images. *Dentomaxillofac Radiol*. 2016;45(2):20150298.
17. Ge Z, Ma R, Li G, Zhang J, Ma X. Age estimation based on pulp chamber volume of first molars from cone-beam computed tomography images. *Forensic Sci Int*. 2015 Aug;253:133.e1-7.
18. Lin PL, Huang PW, Huang PY, Hsu HC. Alveolar bone-loss area localization in periodontitis radiographs based on threshold segmentation with a hybrid feature fused of intensity and the H-value of fractional Brownian motion model. *Comput Methods Programs Biomed*. 2015 Oct;121(3):117–26.
19. De Tobel J, Radesh P, Vandermeulen D, Thevissen PW. An automated technique to stage lower third molar development on panoramic radiographs for age estimation: a pilot study. *J Forensic Odontostomatol*. 2017 Dec 1;35(2):42–54.
20. Papakosta TK, Savva AD, Economopoulos TL, Matsopoulos GK, Grohndal HG. An automatic panoramic image reconstruction scheme from dental computed tomography images. *Dentomaxillofac Radiol*. 2017 Apr;46(4):20160225.
21. Zhang K, Wu J, Chen H, Lyu P. An effective teeth recognition method using label tree with cascade network structure. *Comput Med Imaging Graph*. 2018 Sep;68:61–70.
22. Lee J-H, Han S-S, Kim YH, Lee C, Kim I. Application of a fully deep convolutional neural network to the automation of tooth segmentation on panoramic radiographs. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology* [Internet]. 2019 Nov 15;

23. Hu Z, Jiang C, Sun F, Zhang Q, Ge Y, Yang Y, et al. Artifact correction in low-dose dental CT imaging using Wasserstein generative adversarial networks. *Med Phys*. 2019 Apr;46(4):1686–96.
24. Kunz F, Stellzig-Eisenhauer A, Zeman F, Boldt J. Artificial intelligence in orthodontics : Evaluation of a fully automated cephalometric analysis using a customized convolutional neural network. *J Orofac Orthop*. 2020 Jan;81(1):52–68.
25. Hwang JJ, Han S-S, Lee C, Jung Y-H. Automatic analysis algorithm for acquiring standard dental and mandibular shape data using cone-beam computed tomography. *Sci Rep*. 2018 Sep 10;8(1):13516.
26. Wang S, Li H, Li J, Zhang Y, Zou B. Automatic Analysis of Lateral Cephalograms Based on Multiresolution Decision Tree Regression Voting. *J Healthc Eng*. 2018;2018:1797502.
27. Arijji Y, Yanashita Y, Kutsuna S, Muramatsu C, Fukuda M, Kise Y, et al. Automatic detection and classification of radiolucent lesions in the mandible on panoramic radiographs using a deep learning object detection technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2019 Oct;128(4):424–30.
28. Kavitha MS, Ganesh Kumar P, Park S-Y, Huh K-H, Heo M-S, Kurita T, et al. Automatic detection of osteoporosis based on hybrid genetic swarm fuzzy classifier approaches. *Dentomaxillofac Radiol*. 2016;45(7):20160076.
29. Sauppe S, Abkai C, Hourfar J, Ludwig B, Ulrici J, Hell E. Automatic fusion of lateral cephalograms and digital volume tomography data-perspective for combining two modalities in the future. *Dentomaxillofac Radiol*. 2015;44(9):20150073.

30. Lin PL, Huang PY, Huang PW. Automatic methods for alveolar bone loss degree measurement in periodontitis periapical radiographs. *Comput Methods Programs Biomed.* 2017 Sep;148:1–11.
31. Yun Z, Yang S, Huang E, Zhao L, Yang W, Feng Q. Automatic reconstruction method for high-contrast panoramic image from dental cone-beam CT data. *Comput Methods Programs Biomed.* 2019 Jul;175:205–14.
32. Luo T, Shi C, Zhao X, Zhao Y, Xu J. Automatic Synthesis of Panoramic Radiographs from Dental Cone Beam Computed Tomography Data. *PLoS One.* 2016;11(6):e0156976.
33. Kwon J-J, Hwang J, Kim Y-D, Shin S-H, Cho B-H, Lee J-Y. Automatic three-dimensional analysis of bone volume and quality change after maxillary sinus augmentation. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2019 Dec;21(6):1148–55.
34. Mosleh MAA, Baba MS, Malek S, Almaktari RA. Ceph-X: development and evaluation of 2D cephalometric system. *BMC Bioinformatics.* 2016 Dec 22;17(Suppl 19):499.
35. Sorkhabi MM, Saadat Khajeh M. Classification of alveolar bone density using 3-D deep convolutional neural network in the cone-beam CT images: A 6-month clinical study. *Measurement.* 2019 Dec 1;148:106945.
36. Miki Y, Muramatsu C, Hayashi T, Zhou X, Hara T, Katsumata A, et al. Classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network. *Comput Biol Med.* 2017 Jan 1;80:24–9.
37. Nicolielo LFP, Van Dessel J, van Lenthe GH, Lambrichts I, Jacobs R. Computer-based automatic classification of trabecular bone pattern can assist radiographic bone quality assessment at dental implant site. *Br J Radiol.* 2018 Dec;91(1092):20180437.
38. Arijji Y, Fukuda M, Kise Y, Nozawa M, Yanashita Y, Fujita H, et al. Contrast-enhanced computed tomography image assessment of cervical lymph node metastasis in

patients with oral cancer by using a deep learning system of artificial intelligence. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*. 2019 May 1;127(5):458–63

39. Ekert T, Krois J, Meinhold L, Elhennawy K, Emara R, Golla T, et al. Deep Learning for the Radiographic Detection of Apical Lesions. *Journal of Endodontics*. 2019 Jul 1;45(7):917-922.e5.
40. 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 Oct 1;77:106–11.
41. Lee J-H, Kim D-H, Jeong S-N. Diagnosis of cystic lesions using panoramic and cone beam computed tomographic images based on deep learning neural network. *Oral Dis*. 2020 Jan;26(1):152–8.
42. Merdietio Boedi R, Banar N, De Tobel J, Bertels J, Vandermeulen D, Thevissen PW. Effect of Lower Third Molar Segmentations on Automated Tooth Development Staging using a Convolutional Neural Network. *J Forensic Sci*. 2020 Mar;65(2):481–6.
43. Wang C-W, Huang C-T, Hsieh M-C, Li C-H, Chang S-W, Li W-C, et al. Evaluation and Comparison of Anatomical Landmark Detection Methods for Cephalometric X-Ray Images: A Grand Challenge. *IEEE Trans Med Imaging*. 2015 Sep;34(9):1890–900.
44. Heinrich A, Guttler F, Wendt S, Schenkl S, Hubig M, Wagner R, et al. Forensic Odontology: Automatic Identification of Persons Comparing Antemortem and Postmortem Panoramic Radiographs Using Computer Vision. *Rofo*. 2018 Dec;190(12):1152–8.
45. Wu C-H, Tsai W-H, Chen Y-H, Liu J-K, Sun Y-N. Model-Based Orthodontic Assessments for Dental Panoramic Radiographs. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2018 Mar;22(2):545–51.

46. Stepanovsky M, Ibrova A, Buk Z, Velemínska J. Novel age estimation model based on development of permanent teeth compared with classical approach and other modern data mining methods. *Forensic Sci Int.* 2017 Oct;279:72–82.
47. Lee C, Lim S-H, Huh K-H, Han S-S, Kim J-E, Heo M-S, et al. Performance of dental pattern analysis system with treatment chronology on panoramic radiography. *Forensic Science International.* 2019 Jun 1;299:229–34.
48. Villoria EM, Lenzi AR, Soares RV, Souki BQ, Sigurdsson A, Marques AP, et al. Post-processing open-source software for the CBCT monitoring of periapical lesions healing following endodontic treatment: technical report of two cases. *Dentomaxillofac Radiol.* 2017 Jan;46(1):20160293.
49. Muramtsu C, Takahashi R, Hayashi T, Hara T, Fukui T, Katsumata A, et al. Quantitative evaluation of alveolar bone resorption on dental panoramic radiographs by standardized dentition image transformation and probability estimation. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2016 Aug;2016:1038–41.
50. Bae M, Park J-W, Kim N. Semi-automatic and robust determination of dental arch form in dental cone-beam CT with B-spline approximation. *Comput Methods Programs Biomed.* 2019 Apr;172:95–101.
51. Pei Y, Yi Y, Ma G, Kim T-K, Guo Y, Xu T, et al. Spatially Consistent Supervoxel Correspondences of Cone-Beam Computed Tomography Images. *IEEE Transactions on Medical Imaging.* 2018 Oct;37(10):2310–21.
52. Hwang JJ, Lee J-H, Han S-S, Kim YH, Jeong H-G, Choi YJ, et al. Strut analysis for osteoporosis detection model using dental panoramic radiography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2017 Oct;46(7):20170006.

53. Kavitha MS, An S-Y, An C-H, Huh K-H, Yi W-J, Heo M-S, et al. Texture analysis of mandibular cortical bone on digital dental panoramic radiographs for the diagnosis of osteoporosis in Korean women. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2015 Mar;119(3):346–56.
54. Tuzoff DV, Tuzova LN, Bornstein MM, Krasnov AS, Kharchenko MA, Nikolenko SI, et al. Tooth detection and numbering in panoramic radiographs using convolutional neural networks. *Dentomaxillofac Radiol*. 2019 May;48(4):20180051.
55. Chu P, Bo C, Liang X, Yang J, Megalooikonomou V, Yang F, et al. Using Octuplet Siamese Network For Osteoporosis Analysis On Dental Panoramic Radiographs. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2018 Jul;2018:2579–82.
56. LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature*. 2015 May;521(7553):436–44.
57. Mahendran A, Vedaldi A. Understanding Deep Image Representations by Inverting Them. *arXiv:14120035 [cs] [Internet]*. 2014 Nov 26;
58. Hengstler M, Enkel E, Duelli S. Applied artificial intelligence and trust—The case of autonomous vehicles and medical assistance devices. *Technological Forecasting and Social Change*. 2016 Apr 1;105:105–20.
59. Pesapane F, Volonté C, Codari M, Sardanelli F. Artificial intelligence as a medical device in radiology: ethical and regulatory issues in Europe and the United States. *Insights Imaging*. 2018 Oct 1;9(5):745–53.

VII. ANNEXES

ANNEE DE PUBLICATION	AUTEUR	PAYS D'ORIGINE	MODELE D'IA ET ARCHITECTURE UTILISEE
2015	Kavitha (53)	Corée	Naïve Bayes; KPV; MVS
	Lin (18)	Taiwan	Naïve Bayes, KPV, MVS
	Wang (43)	Taiwan	Comparaison de plusieurs modèles d'IA
	Ge (17)	Chine	Logiciel ITK-SNAP 2.4
2016	Sauppe (29)	Allemagne	Projection virtuelle
	Bahrapour (16)	Iran	Comparatifs de plusieurs modèles d'IA
	Kavitha (28)	Corée	Réseau de neurones artificiels
	Luo (32)	Chine	K-moyennes
	Mosleh (34)	Yémen	Technologie CephX
	Muramtsu (49)	Japon	Estimation probabiliste
	Wang (9)	Taiwan	Comparaison de plusieurs modèles d'IA
	Villoria (48)	Brésil	Logiciel ITK-SNAP v. 3.0 et logiciel MeshLab
2017	De Tobel (19)	Belgique	Réseau de neurones artificiels
	Hwang (25)	Corée	Arbre de décision, machine à vecteurs de support
	Lin (30)	Taiwan	Naïve Bayes
	Miki (36)	Japon	Réseau de neurones artificiels
	Štepanovský (46)	République Tchèque	Comparaison de plusieurs logiciels
	Papakosta (20)	Grèce	Modèle polynomial
	Pei (51)	Chine	Forêt en grappe non supervisée
	Chu (55)	États-Unis	Réseau de neurones artificiels
	Du (11)	Chine	Réseau de neurones artificiels
	Ed-Dhahraouy (14)	Maroc	Réseau anatomique et géométrique
2018	Heinrich (44)	Allemagne	Vision par ordinateur

Hwang (25)	Corée	Algorithme MATLAB
Nicolielo (37)	Belgique	Analyse discriminante linéaire
Wang (26)	Chine	Forêt d'arbres décisionnels
Wu (45)	Taiwan	Modèle de forme actif
Zhang (17)	Chine	Réseau de neurones artificiels
Alsmadi (13)	Arabie Saoudite	Clustering flou
De Dumast (15)	États-Unis	Réseau de neurones artificiels
Lee (40)	Corée	Réseau de neurones artificiels
Ariji (27)	Japon	Réseau de neurones artificiels
Bae (50)	Corée	Approximation courbe B-spline
Hiraiwa (12)	Japon	Réseau de neurones artificiels
Hu (23)	Chine	Réseaux Antagonistes Génératifs
Kathiverlu (10)	Inde	Vision par ordinateur
Kwon (33)	Corée	Algorithme MATLAB
Tuzoff (54)	Russie	Réseau de neurones artificiels
Yun (31)	Chine	Nouvel algorithme de synthèse
Lee (33)	Corée	Réseau de neurones artificiels
Sorkhabi (35)	Iran	Réseau de neurones artificiels
Ariji (38)	Japon	Réseau de neurones artificiels
Ekert (39)	Allemagne	Réseau de neurones artificiels
Lee (47)	Corée	Non disponible
Kunz (24)	Allemagne	Réseau de neurones artificiels
Lee (41)	Corée	Réseau de neurones artificiels
Merdietio Boedi (42)	Belgique	Réseau de neurones artificiels
2019		
2020		

Figure 8 : articles triés selon l'année de publication

DOMAINE D'ETUDE	AUTEUR	TACHE EFFECTUEE	TYPE D'IMAGES	NOMBRE D'IMAGES	STANDARD DE REFERENCE
CARIOLOGIE	Lee (40)	Détection de caries	Radio rétro-alvéolaire	3000	Jugement d'experts
CHIRURGIE ORALE	Bahrampour (16)	Localisation automatique du canal du nerf alvéolaire inférieur	CBCT	40	Jugement d'experts
	Nicolielo (37)	Classification automatique par ordinateur du modèle osseux trabéculaire	CBCT	25	Jugement d'experts
	Alsmadi (13)	Segmentation automatique de lésion de la mâchoire	Panoramique	95	Localisation d'expert
	Ariji (27)	Détection et classification automatiques des lésions radiotransparentes dans la mandibule	Panoramique	210	Vérité de la présence d'une lésion
	Kwon (33)	Analyse tridimensionnelle automatique de la variation du volume et de la qualité de l'os après une augmentation du sinus maxillaire	CBCT	22	Non disponible
	Sorkhabi (35)	Classification de la densité de l'os alvéolaire	CBCT	207	Mesure durant la chirurgie
	Ariji (38)	Diagnostic des métastases des ganglions lymphatiques.	CT	45	Jugement d'experts
DENTISTERIE GENERALE	Wang (9)	Benchmark d'algorithmes pour la détection des points de repère, la classification de pathologies et la segmentation des dents.	Radiographie céphalométrique et radiographie rétro-coronaire	520	Jugement d'experts
	Hwang (25)	Acquisition de données standard sur les formes dentaires et mandibulaires	CBCT	30	Jugement d'experts
	Tuzoff (54)	Détection des dents et numérotation	Panoramique	1574	Jugement d'experts
	Lee (22)	Segmentation automatique des dents	Panoramique	50	Jugement d'experts
	Ekert (39)	Détection de lésions apicales	Panoramique	85	Jugement d'experts
	Lee (41)	Diagnostic des lésions kystiques	CBCT et panoramique	2126	Comparaison avec d'autres moyens de diagnostic
DYSFONCTION DE L'APPAREIL MANDUCATEUR	De Dumast (15)	Classification de l'ostéoartrite de l'articulation temporo-mandibulaire	CBCT	293	Jugement d'experts
ENDODONTIE	Villoria (48)	Surveillance de la cicatrisation des lésions périapicales	CBCT	2	Non disponible
	Hiraiwa (12)	Classification de la morphologie canalaire de la première molaire mandibulaire	Panoramique	760	CBCT
MEDECINE GENERALE	Kavitha (53)	Diagnostic de l'ostéoporose chez les femmes	Panoramique	141	Examens d'absorptiométrie à rayons X

	Kavitha (28)	Diagnostic de l'ostéoporose chez les femmes	Panoramique	141	Examens d'absorptiométrie à rayons X
	Hwang (52)	Diagnostic de l'ostéoporose	Panoramique	454	Examens d'absorptiométrie à rayons X
	Chu (55)	Détection de l'ostéoporose	Panoramique	108	Autres méthodes de détection
	Kathiverlu (10)	Mesure de l'épaisseur de la corticale mandibulaire (recherche de faible densité osseuse)	Panoramique	76	Examens d'absorptiométrie à rayons X
MEDECINE LEGALE	Zhang (25)	Détection et classification des dents	Radio rétro-alvéolaire	1000	Comparaison à un réseau neuronal
	Ge (17)	Estimation de l'âge basée sur le volume de la chambre pulpaire	CBCT	745	Âge actuel
	De Tobel (19)	Estimation de l'âge à partir du stade de développement des 3èmes molaires mandibulaires	Panoramique	400	Jugement d'experts
	Miki (36)	Détection et classification du type de dent	CBCT	52	Vérité de la typologie de la dent
	Štepanovský (46)	Estimation de l'âge à partir du stade de développement des dents permanentes	Panoramique	976	Comparaison avec d'autres méthodes d'exploration des données
	Heinrich (44)	Identification d'une personne en comparant une panoramique ante-mortem et post-mortem	Panoramique	43467	Panoramique existante
	Lee (47)	Analyse des modèles dentaires	Panoramique	500	Non disponible
	Merdietio Boedi (42)	Stade de développement automatisé des dents	Panoramique	400	Jugement d'experts
ORTHODONTIE	Wang (43)	Détection de repère céphalométrique	Radiographie céphalométrique	300	Jugement d'experts
	Mosleh (34)	Analyse céphalométrique automatisée	Radiographie céphalométrique	30	Jugement d'experts
	Pei (51)	Superposition automatisée d'images de CBCT	CBCT	150	Rapport d'étiquetage précis
	Ed-Dhahraouy (14)	Analyse céphalométrique automatisée	CBCT	5	Jugement d'experts

	Wang (26)	Analyse céphalométrique automatisée	Radiographie céphalométrique	300	Jugement d'experts
	Wu (45)	Évaluations orthodontiques basées sur un modèle	Panoramique	159	Jugement d'experts
	Kunz (24)	Analyse céphalométrique automatisée	Radiographie céphalométrique	1842	Jugement d'experts
	Bae (50)	Détection semi-automatique de la forme de l'arcade	CBCT	13	Jugement d'experts
	Lin (18)	Identification des zones de perte d'os alvéolaire	Radio rétro-alvéolaire	28	Jugement d'experts
	Muramtsu (49)	Évaluation quantitative de la résorption osseuse alvéolaire	Panoramique	92	Mesure manuel de la perte d'os alvéolaire
	Lin (30)	Mesure du degré de perte osseuse alvéolaire	Radio rétro-alvéolaire	18	Jugement d'experts
	Sauppe (29)	Fusion de radiographie céphalométrique et de volume 3D	Radiographie céphalométrique et CBCT	3	Cas fantôme
	Luo (32)	Synthèse automatique de radiographies panoramiques à partir du CBCT	CBCT	4	Autres méthodes actuellement disponibles
	Papakosta (20)	Reconstruction automatique d'une image panoramique.	CBCT	42	Examination des images panoramiques
	Du (11)	Méthode d'auto-positionnement en radiographie panoramique	Panoramique	5166	Non disponible
	Hu (23)	Correction des artefacts	CBCT	44	CT à dose normale de haute qualité
	Yun (31)	Reconstruction automatique d'une image panoramique à contraste élevé	CBCT	129	Comparaison avec d'autres techniques de segmentation

Figure 9 : articles triés selon le domaine d'étude

VIII. TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Diagramme de Flow.	14
Figure 2 : Nombre d'articles publiés selon le pays d'origine.	15
Figure 3 : Répartition des études incluses en fonction du modèle d'IA utilisé.	16
Figure 4 : nombre d'articles selon le type d'image analysé.....	16
Figure 5 : Répartition des études incluses de 2015 à 2020 selon la modalité d'images.....	17
Figure 6 : Articles selon le standard de référence utilisé.....	17
Figure 7 : Nombre d'études selon le domaine d'application et la tâche effectuée	18
Figure 8 : Articles triés selon l'année de publication (annexes).....	33
Figure 9 : Articles triés selon le domaine d'étude (annexes)	36

IX. TABLE DES ABREVIATIONS

ALARA : As Low As Reasonably Achievable

CBCT : Cone Beam Computed Tomography

CT : Computed Tomography

DICOM : Digital Imaging and Communications in Medicine

FDA : Food and Drug Administration

IA : Intelligence Artificielle

JPEG : Joint Photographic Experts Group

RGPD : Règlement Général sur la Protection des Données

TIFF : Tagged Image File Format

Serment d'Hippocrate modifié et actualisé pour les Médecins dentistes

Au moment d'être admis à exercer une profession médicale, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de préserver, de promouvoir ou de rétablir la santé dans toutes ses dimensions, physique et mentale, personnelle et sociale.

Pour cela, je travaillerai en partenariat respectueux avec mes confrères et avec toutes les autres professions qui partagent les mêmes objectifs.

J'aiderai les autorités sanitaires dans leurs efforts pour préserver et améliorer la santé de la population.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, d'ethnie, de classe sociale ou de revenus viennent s'interposer entre mes patients et moi.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera.

J'aurai comme objectif de prodiguer à mes patients les soins reconnus comme les plus efficaces par les sciences médicales du moment.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ces missions.

Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences et je considérerai comme un devoir absolu de perfectionner sans cesse celles-ci.

Je respecterai toutes les personnes, et leur autonomie.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je tiendrai compte de leurs choix et de leurs préférences pour leur procurer la qualité de vie la meilleure. Je ne ferai rien pour forcer leur conscience.

Je garderai à mes maîtres le respect et la reconnaissance qui leur sont dus.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé si j'y manque.

LE CLEUZIAT, Jules .- L'intelligence artificielle en radiologie dentaire : une revue systématique de la littérature.

40 f., 9 ill., 30 cm.- Thèse : Odontologie ; Rennes 1; 2020 ; N° 42.2020. .

Résumé français

Les publications scientifiques concernant l'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) en radiologie dentaire ont vu leur nombre augmenter ces dernières années.

La littérature actuelle présente des applications potentielles de l'intelligence artificielle mais également des applications cliniques directes dans la pratique radiologique du chirurgien-dentiste.

Les principales tâches effectuées par l'IA sont l'amélioration des données numériques radiographiques, le repérage des dents, la détection de lésions radio-claires, kystes et/ou tumeurs, la localisation de repères céphalométriques et le diagnostic de l'ostéoporose sur panoramique dentaire.

Néanmoins, de nombreuses évolutions sont encore nécessaires afin de pouvoir intégrer l'IA dans le travail quotidien au sein du cabinet dentaire.

Rubrique de classement : RADIOLOGIE

Mots-clés : intelligence artificielle , apprentissage automatique, apprentissage profond, réseau de neurones, panoramique, CBCT

Mots-clés anglais MeSH : Artificial intelligence, machine learning, deep learning, automatic, computer-assisted, CBCT, panoramic

JURY :
Président : Madame le Professeur BERTAUD-GOUNOT Valérie
Asseseurs : Madame le Docteur MEARY Fleur
Madame le Docteur BOLLE Caroline
Monsieur le Docteur CHAUVEL Brice