



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -  
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

**UNIVERSITE CLAUDE BERNARD-LYON I**

**U.F.R. D'ODONTOLOGIE**

Année 2020

THESE N° 2020 LYO 1D 044

**T H E S E**  
**POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement le :

**18 Septembre 2020**

par

**COUSTANS Cyril**

**Né le 28 Octobre 1994, à Grenoble (38)**

---

**Précision des caméras intra-orales: analyse de la littérature**

---

**JURY**

**Madame le Professeur Catherine Millet**

**Président**

**Monsieur le Docteur Maxime Ducret**

**Assesseur**

**Monsieur le Docteur François Virard**

**Assesseur**

**Madame le Docteur Julie Santamaria**

**Assesseur**

# UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

Président de l'Université	M. le Professeur F. FLEURY
Président du Conseil Académique	M. le Professeur H. BEN HADID
Vice-Président du Conseil d'Administration	M. le Professeur D. REVEL
Vice-Président de la Commission Recherche du Conseil Académique	M. le Professeur J.F MORNEX
Vice-Président de la Commission Formation Vie Universitaire du Conseil Académique	M. le Professeur P. CHEVALIER

## SECTEUR SANTE

Faculté de Médecine Lyon Est	Directeur : M. le Professeur G. RODE
Faculté de Médecine et Maïeutique Lyon-Sud Charles Mérieux	Directeur : Mme la Professeure C. BURILLON
Faculté d'Odontologie	Directrice : Mme la Professeure D. SEUX
Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques	Directrice : Mme la Professeure C. VINCIGUERRA
Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation	Directeur : M. X. PERROT, Maître de Conférences
Département de Formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine	Directrice : Mme la Professeure A.M. SCHOTT

## SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

UFR des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives	Directeur : M. Y. VANPOULLE, Professeur Agrégé
Institut Universitaire de Technologie Lyon 1	Directeur : M. le Professeur C. VITON
Ecole Polytechnique Universitaire de l'Université Lyon 1	Directeur : M. E. PERRIN
Institut de Science Financière et d'Assurances	Directeur : M. N. LEBOISNE, Maître de Conférences

INSPE	Administrateur provisoire : M. P. CHAPEYRON
Observatoire de Lyon	Directrice : Mme la Professeure I. DANIEL
CPE	Directeur : M. G. PIGNAULT
GEP	Administratrice provisoire : Mme R FERRIGNO
Informatique (Département composante)	Directeur : M. B. SHARIAT
Mécanique (Département composante)	Directeur : M. M. BUFFAT
UFR FS (Chimie, mathématique, physique)	Administrateur provisoire : M. B. ANDRIOLETTI
UFR Bioscience (Biologie, biochimie)	

# FACULTE D'ODONTOLOGIE DE LYON

**Doyenne :** Mme Dominique SEUX, Professeure des Universités  
**Vices-Doyens :** M. Jean-Christophe MAURIN, Professeur des Universités  
Mme Béatrice THIVICHON-PRINCE, Maître de Conférences

## **SOUS-SECTION 56-01 :**

### **ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE ET ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE**

Professeur des Universités : M. Jean-Jacques MORRIER  
Maître de Conférences : M. Jean-Pierre DUPREZ, Mme Sarah GEBEILE-CHAUTY,  
Mme Claire PERNIER,  
Maître de Conférences Associée Mme Christine KHOURY

## **SOUS-SECTION 56-02 :**

### **PREVENTION – EPIDEMIOLOGIE ECONOMIE DE LA SANTE - ODONTOLOGIE LEGALE**

Professeur des Universités M. Denis BOURGEOIS  
Maître de Conférences M. Bruno COMTE  
Maître de Conférences Associé M. Laurent LAFOREST

## **SOUS-SECTION 57-01 :**

### **CHIRURGIE ORALE – PARODONTOLOGIE – BIOLOGIE ORALE**

Professeur des Universités : M. Jean-Christophe FARGES, Mme Kerstin GRITSCH  
Maîtres de Conférences : Mme Anne-Gaëlle CHAUX, M. Thomas FORTIN, M. Arnaud  
LAFON, M. François VIRARD  
Maître de Conférences Associé M. Bekhouche Mourad

## **SOUS-SECTION 58-01 :**

### **DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESE, FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATERIAUX**

Professeurs des Universités : M. Pierre FARGE, Mme Brigitte GROSGOGEAT, M. Jean-  
Christophe MAURIN, Mme Catherine MILLET, M. Olivier  
ROBIN, Mme Dominique SEUX, M. Cyril VILLAT,  
Maîtres de Conférences : M. Maxime DUCRET, M. Patrick EXBRAYAT, M. Christophe  
JEANNIN, Mme Marion LUCCHINI, M. Renaud NOHARÉ, M. Thierry SELLI, Mme Sophie VEYRE, M. Stéphane  
VIENNOT, M. Gilbert VIGUIE,  
Maîtres de Conférences Associés M. Hazem ABOUELLEIL,

## **SECTION 87 :**

### **SCIENCES BIOLOGIQUES FONDAMENTALES ET CLINIQUES**

Maître de Conférences Mme Florence CARROUEL

**MILLET Catherine**

Professeure des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Praticien-Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Lyon I

Habilitée à Diriger des Recherches

Responsable de la sous-section Prothèses

Vous nous faites l'honneur et la joie de présider notre jury.

C'est un immense plaisir que de vous compter parmi nos maîtres et d'avoir pu, lors de notre formation, participer à certains de vos projets.

Travailler avec vous a toujours été un plaisir et nous espérons pouvoir renouveler cette expérience.

Nous vous prions de trouver ici nos remerciements et notre profonde reconnaissance.

**DUCRET Maxime**

Maître de Conférences à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Ancien Assistant hospitalo-universitaire au CSERD de Lyon

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Lyon I

Nous sommes très heureux et honoré que vous ayez accepté d'assurer la direction de cette thèse.

Nous tenons à vous remercier chaleureusement pour votre pédagogie et votre investissement tout au long de notre formation.

Nous saluons votre motivation à mettre en place de nombreux projets concernant les techniques innovantes au sein de cette institution.

Nous avons su apprécier votre soutien indéfectible lors de la réalisation de ce travail, même lorsque la distance ne le facilitait pas.

Veillez trouver en ces mots, comme en ce travail, l'expression de notre sincère estime et affection.

**VIRARD François**

Maître de Conférences à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Praticien-Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Lyon I

Vous nous faites l'honneur et le plaisir d'être notre juge.

Nous vous remercions pour votre immense investissement au sein de cette institution.

Vous avez su être présent, professionnellement et personnellement tout au long de notre formation.

Nous avons toujours été très satisfait de travailler en votre compagnie et nous espérons que nous aurons de nouvelles occasions de collaborer.

Nous vous prions de trouver en ces mots la démonstration de notre profond respect.

**SANTAMARIA Julie**

Ancien Assistant hospitalo-universitaire au CSERD de Lyon

Docteur en Chirurgie Dentaire

Praticien-Hospitalier

Nous sommes enchanté de vous compter parmi les membres du jury.

Nous apprécions tout particulièrement l'intérêt que vous portez à ce sujet, il prouve que notre travail n'est pas cantonné à la prothèse mais qu'il affecte tous les domaines de l'odontologie.

Nous vous remercions pour vos remarques apportées à ce document.

Nous gardons des souvenirs chaleureux de notre formation à vos côtés.

Nous vous prions de trouver en ces mots la démonstration de notre profond respect.

# Table des matières

I.	Introduction.....	2
II.	L’empreinte optique le maillon principal de la chaîne numérique.....	3
	A.    Qu’est-ce qu’une caméra intra-orale (CIO).....	5
	B.    Le maillage.....	7
	C.    Un fichier numérique commun : le format stl.....	8
	D.    Comment réussir une empreinte optique.....	8
	E.    Post-traitement et recueil des données.....	11
	F.    Les critères de choix d’une caméra.....	11
	G.    Tableau récapitulatif.....	11
	H.    Qu’est-ce que la précision.....	13
III.	Matériel et Méthode.....	16
	A.    Méthodologie de l’étude.....	16
	B.    Mots clefs.....	16
	C.    Facteurs d’inclusion et d’exclusion.....	16
	D.    Collecte des données.....	17
IV.	Résultats et Discussion.....	18
	A.    Méthodologie de recherche.....	18
	B.    Caractérisation de la question scientifique.....	19
	C.    Précision des CIO.....	21
	D.    Limites et perspectives cliniques.....	25
V.	Conclusion.....	27

## **I. Introduction**

L'odontologie est une discipline qui n'échappe pas au numérique et à l'intégration des nouvelles technologies. Cette tendance se retrouve par exemple au travers de dispositifs médicaux comme les radiographies numériques ou les scanners de type cône-beam ( CBCT ), et plus récemment pour réaliser des empreintes dans la cavité buccale des patients. L'intégration de ces outils s'inscrit dans une nouvelle démarche de travail qu'il faut régulièrement repenser pour s'assurer de suivre le train des nouvelles technologies. Dans le cadre de l'empreinte optique, de nombreux dispositifs médicaux inondent le marché et le praticien peut ainsi être facilement perdu dans l'offre pléthorique qu'il trouve à sa disposition. Aujourd'hui parmi la vingtaine de caméras à la disposition des praticiens, chacune dispose de ses spécificités, d'une technologie et de performances qui peuvent faire varier les indications. Il est aujourd'hui difficile de faire la synthèse de toute ces informations, alors que ce sont des points importants à réfléchir avant d'acquérir cet équipement. C'est notamment le cas des performances, car il est aujourd'hui difficile d'estimer la précision de chaque caméra. La diversité des valeurs et des protocoles retrouvés dans la littérature ne favorise pas le travail.

L'objectif de ce travail a donc été de faire l'analyse de la littérature sur la question de la performance des caméras, de manière à faire ressortir les technologies et les produits capables de réaliser les empreintes de nos patients en toute sérénité. Pour cela nous proposons une première partie de rappels sur les caméras, puis nous réalisons un travail d'analyse de la littérature selon une approche de compilation systématique. Enfin, la troisième partie de ce travail expose les résultats de cette recherche et discute ses résultats aux vues de la littérature récente.

## II. L’empreinte optique le maillon principal de la chaîne numérique

Chaque acte d’un traitement peut être décomposé en de multiples composantes, qu’il soit réalisé de manière numérique ou, par opposition, de manière physique. L’ensemble du traitement forme une chaîne, et chaque étape en constitue un maillon. Une fois les maillons assemblés il est possible de constater un écart entre les résultats attendus et ceux observés, cet écart existe à la fois dans une chaîne physique, mais aussi numérique. Au niveau physique, des étapes de perte d’informations sont répertoriées et étudiées, que ce soit des anomalies de l’empreinte (déformations, bulles...), du modèle en plâtre (bulles, détournage, ...), et de la confection de la pièce prothétique (problème de coulée...) (1). La chaîne numérique peut sembler apporter une solution, mais elle est source de difficultés nouvelles. Dans le cas d’une chaîne numérique, c’est la caméra intra-orale qui sert de base à toute la suite du protocole.

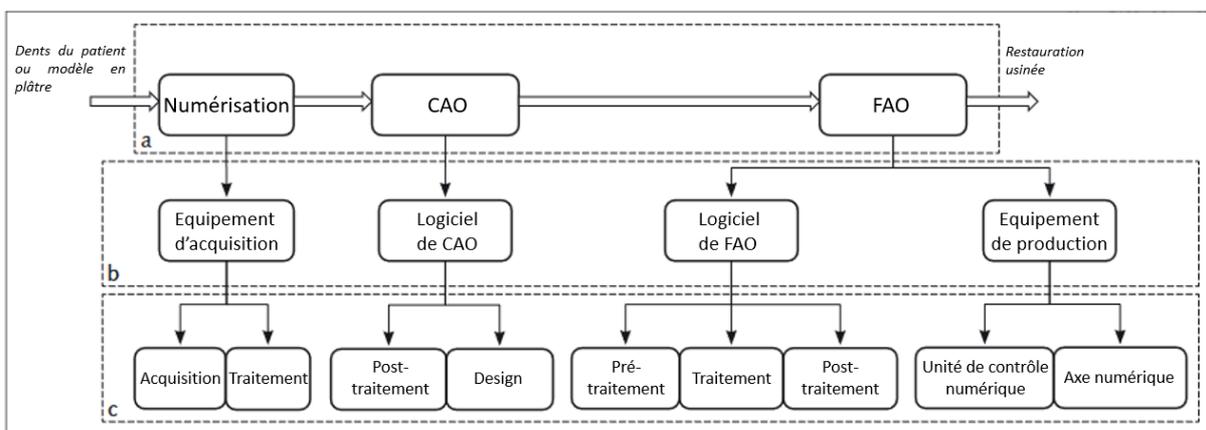
### CAO/FAO les grandes stratégies

**La CFAO (CAD/CAM (Computer Assisted Design/Computer Assisted Manufacturing)) :** La conception Fabrication Assistées par Ordinateur est le domaine de la dentisterie qui regroupe trois procédés numériques différents (2) :

**La numérisation :** Il s’agit de la prise d’empreinte numérique, réalisée à l’aide d’une caméra optique. Cela correspond à la création d’un fichier numérique à partir du patient.

**La CAO (CAD) :** La conception assistée par ordinateur est le traitement de l’empreinte numérique, le dessin de la restauration prothétique ou le nettoyage de l’empreinte prête à être usinée. Cela correspond à la manipulation des modèles dans les logiciels de conception numérique.

**La FAO (CAM) :** La fabrication assistée par ordinateur concerne l’usinage et l’impression des modèles physiques ou des restaurations. Elle est réalisée à l’aide d’usineuses ou d’imprimantes 3D



**Figure 1 :** Schéma récapitulatif du flux numérique. a) Etapes de la chaîne numérique. b) Matériel employé c) Etapes numériques de traitement de l'information. Issu de (3).

Il est important de noter que la chaîne numérique présentée dans la Figure 1 est une chaîne intégralement numérique, afin d'aboutir à une restauration usinée, plusieurs voies sont possibles :

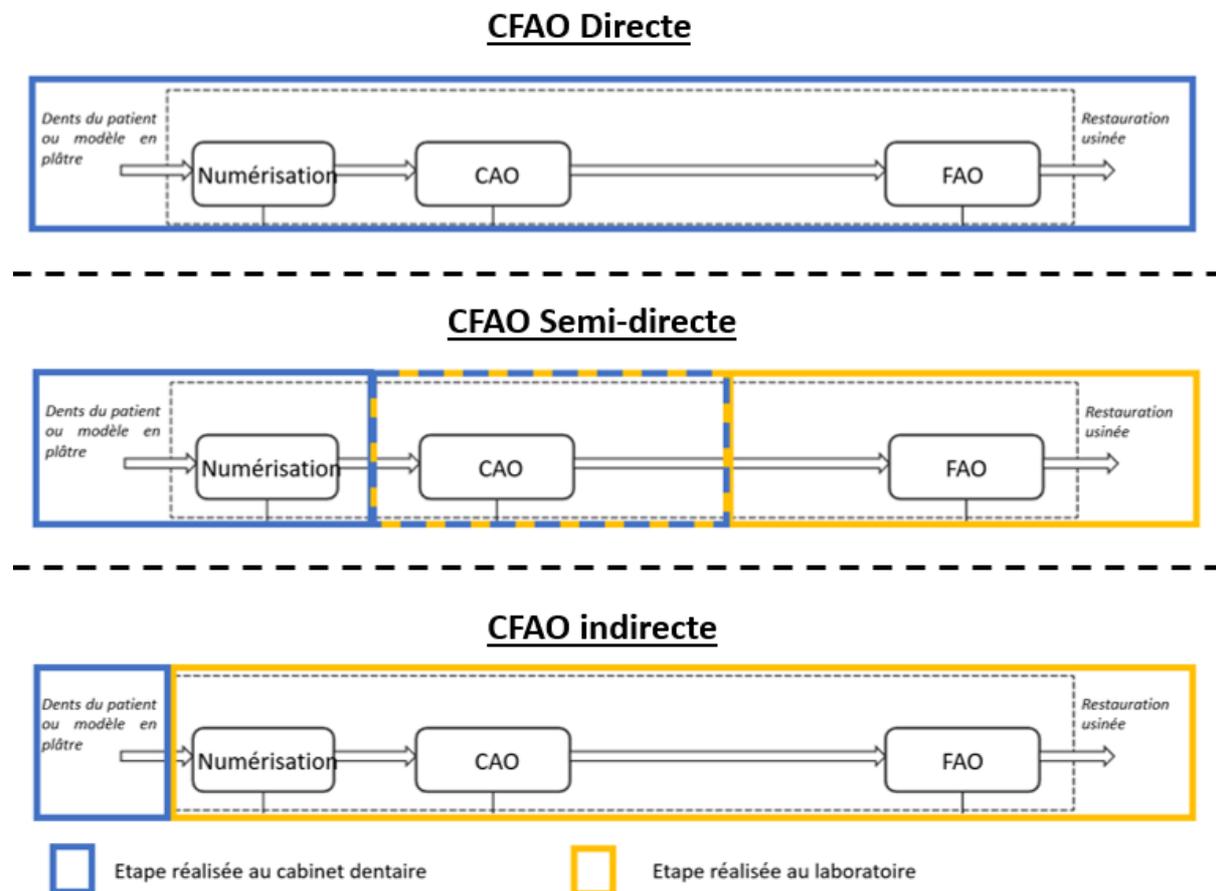
**La CFAO, un acronyme, trois chaînes numériques**

La CFAO est un terme générique qui peut être appliquée de trois façons dans le travail au cabinet ou au laboratoire dentaire (Figure 2) :

**-La CFAO dite directe :** le praticien réalise, au cabinet, l'intégralité de la chaîne numérique. Il effectue lui-même une empreinte numérique, la conception et la fabrication de la pièce.

**-La CFAO dite semi-directe :** Le dentiste réalise une empreinte numérique et envoie le fichier numérique à un laboratoire qui s'occupe de la conception et la fabrication de la pièce.

**-La CFAO dite indirecte :** Le dentiste réalise une empreinte physique qu'il envoie au laboratoire qui se charge de numériser, de réaliser la conception et la fabrication de la pièce.



**Figure 2 :** Schéma des différentes stratégies de CFAO

## A. Qu'est-ce qu'une caméra intra-orale (CIO)

Une CIO, aussi appelée scanner intra-oral, est un outil servant à numériser les arcades du patient. Existant sous différentes formes et technologies, elle poursuit un objectif précis : celui de transformer un volume physique en 3 dimensions (la cavité buccale du patient) en un signal informatique (3,4) qui servira de support aux étapes suivantes de la chaîne numérique. L'enjeu de cette transformation réside dans l'acquisition et la retranscription de la troisième dimension (5). Pour ce faire il existe trois technologies :

### *La triangulation active*

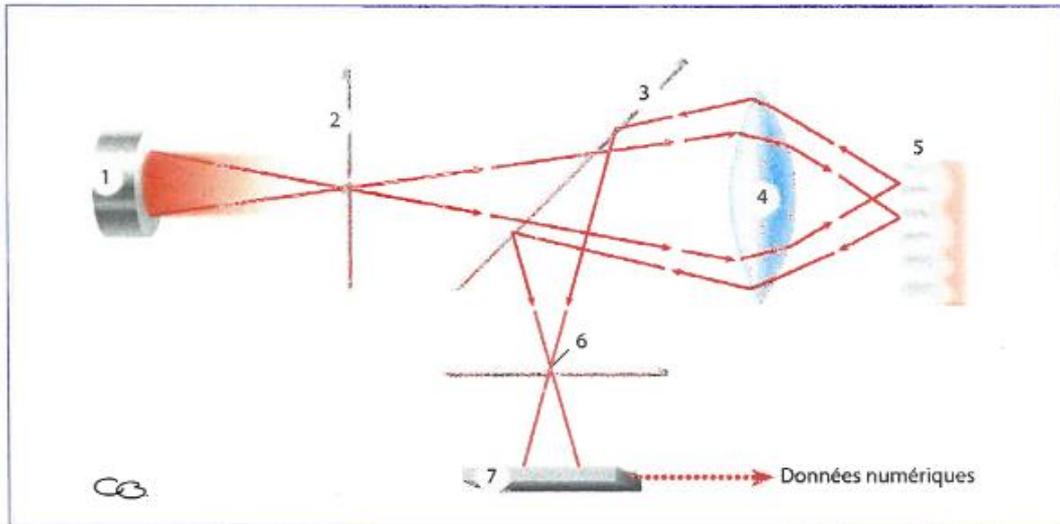
La CIO peut projeter une lumière, qu'elle soit blanche ou colorée (souvent bleue), avec un motif particulier (des stries lumineuses par exemple). La déformation de ce volume dans la cavité buccale du patient permet à la caméra de calculer les volumes et donc de reconstruire la cavité buccale en trois dimensions (Figure 3). Cette technique s'appelle la triangulation active. Une autre façon de réaliser une triangulation est d'utiliser deux capteurs, à l'instar de la vue, mais cela génère des données plus complexes à analyser.



**Figure 3** : Photo d'un masque lumineux de stries verticales projetées sur une surface dentaire (6)

### *La microscopie confocale*

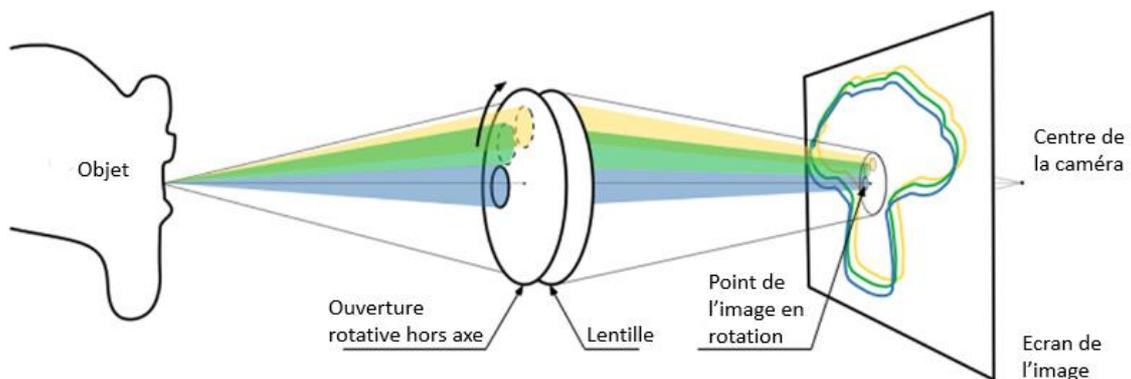
Dans cette technique, la source lumineuse est concentrée par un sténopé qui va créer une image nette sur une certaine profondeur de champ. A la réception de l'information, un deuxième sténopé filtre la lumière réfléchiée par les dents pour ne garder que la profondeur de champ qui apparaît nette (Figure 4). Un balayage successif permet donc de retrouver les différentes informations sur la profondeur du volume.



**Figure 4** : Schéma de fonctionnement de la microscopie confocale (2).

### *Echantillonnage actif du front d'onde*

Afin de produire une image en 3 dimensions le rayon lumineux de la caméra passe par une ouverture capable d'une rotation. Cette rotation induit une rotation des points relevés par la caméra. La profondeur du point étudié (troisième dimension) peut être calculée grâce aux rayons de déplacement des points relevés par les différentes positions de l'ouverture (7), comme schématisé sur la Figure 5.



**Figure 5** : Représentation schématique d'une caméra fonctionnant par échantillonnage actif de front d'onde (7).

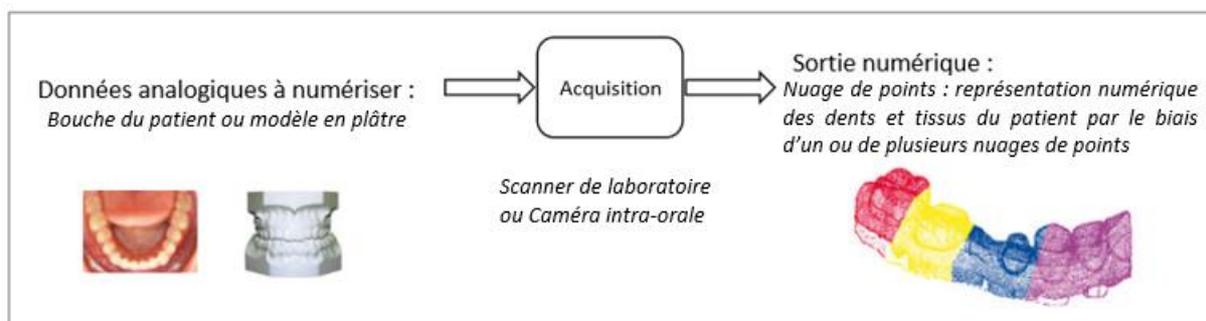
### *Image par image ou vidéo*

La CIO produit un fichier à partir d'une des technologies présentées ci-dessus ; initialement elle produisait des photographies successives qui étaient ensuite reconstituées en un volume 3D par un

algorithme (5). Cette méthode est de plus en plus délaissée au profit d'une acquisition vidéo qui permet de diminuer les erreurs de reconstitutions du volume (8) et donc une meilleure précision lors de l'acquisition d'arcades complètes (9).

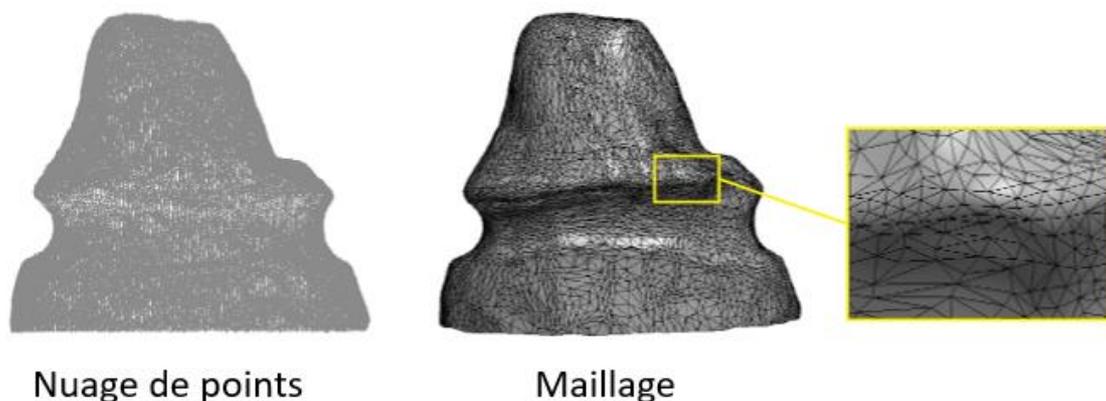
## B. Le maillage

Quelque soit la technique contenue dans la CIO, les données collectées ne sont pas un volume, mais une multitude de points qui correspondent à une carte en trois dimensions des coordonnées des informations (3). Cette forme de représentation est appelée nuage de points (Figure 6).



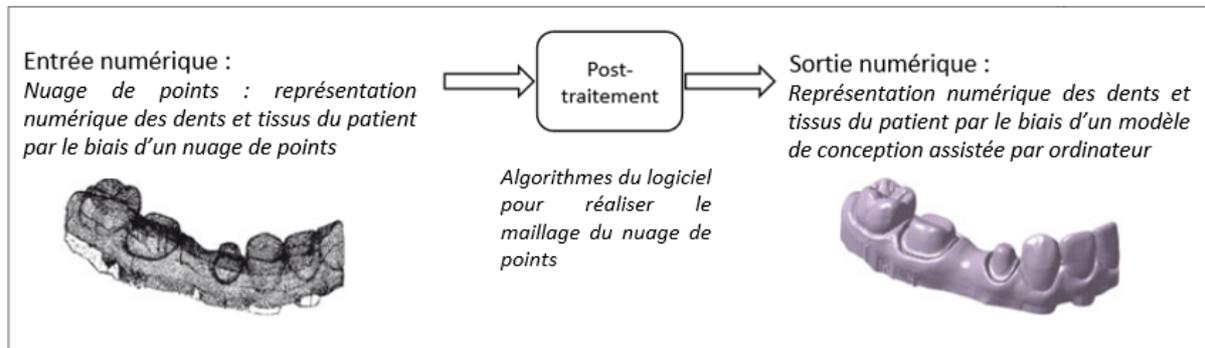
**Figure 6** : Schéma récapitulatif de l'étape d'acquisition de données numériques (3).

L'utilisateur d'une caméra intra-orale n'est en réalité que rarement confronté à ce fichier. Un algorithme vient former des triangles de la taille la plus réduite possible dans ce nuage de point de manière à former un volume continu appelé maillage (4).



**Figure 7** : Représentation d'une préparation dentaire sous forme de nuage de point et sous forme de maillage (10).

C'est à partir de ce maillage qu'un lissage numérique est réalisé afin de donner l'aspect que l'utilisateur rencontre dans l'interface de la caméra. Le maillage étant un volume, il peut être utilisé tel quel par l'utilisateur ou transféré dans un autre logiciel compatible avec son format numérique.



**Figure 8** : Représentation schématique du post traitement d'une empreinte numérique (3).

#### C. Un fichier numérique commun : le format stl.

Il existe dans le domaine du numérique un type de fichier qui prend en charge les maillages : le format stl (pour Standard Tessellation Language). Initialement certaines caméras disposaient de leur propre format de fichier (3) un logiciel capable de lire le fichier source était nécessaire afin de poursuivre la chaîne numérique (11). Le fichier .stl a cependant l'inconvénient de ne pas comporter d'informations de couleur et de texture, un nouveau format de données a donc été créé pour ajouter ces informations : le format .ply. Qu'il s'agisse du .stl ou .ply, ces formats sont dits ouverts, c'est-à-dire que n'importe quel logiciel est capable de lire et d'utiliser ce fichier 3D.

#### D. Comment réussir une empreinte optique

##### ***Environnement de la prise d'empreinte***

Plusieurs études se sont penchées sur l'impact de la luminosité ambiante lors de l'empreinte. L'étude de Arakida et al. (12) a notamment démontré un impact de l'éclairage direct du scialytique sur la durée et la précision de l'empreinte. Pour les CIO utilisant des lasers, une haute luminosité entraîne des erreurs dans la réception de l'information (13).

### ***Nécessité ou absence de poudrage***

Les tissus dentaires étant partiellement réfléchissant, une solution apportée par les fabricants consiste à poudrer des surfaces dentaires. En vaporisant une fine couche de dioxyde de titane, les surfaces dentaires sont rendues plus mates et le contraste est amélioré (8). Bien que cela facilite l'acquisition et soit nécessaire pour certaines caméras, une inhomogénéité de l'application de cette couche entraîne une perte de précision (14), même si cela reste discuté dans la littérature(15)(8,16). Pour des raisons pratiques et de gain de temps, beaucoup d'industriels tentent de supprimer le poudrage de leur protocole d'empreinte.

### ***Expérience de l'utilisateur***

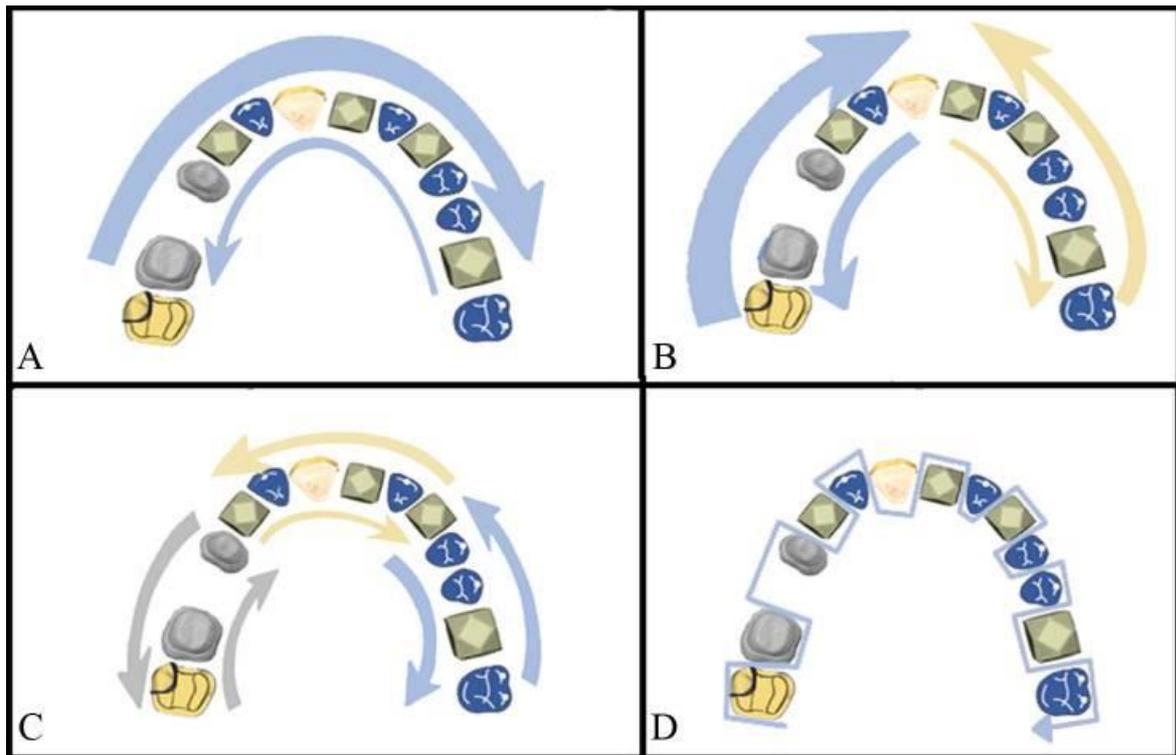
Comme pour une empreinte physique, il existe une courbe d'apprentissage avec les empreintes optiques (17). Des utilisateurs inexpérimentés auront tendance à réaliser une acquisition plus lente, ce qui détériore en plus la précision d'une empreinte *in vivo* (14,17). De plus, cela favorise une répartition inégale des points avec des zones moins précisément numérisées (15). Certaines études ont donc recours à des praticiens expérimentés dans l'utilisation de la caméra (18,19) ou à un protocole dans lequel l'utilisateur effectue 10 scans d'entraînement qui sont ensuite supprimés (20).

Une autre donnée importante que l'utilisateur doit prendre en compte lors de l'acquisition est la distance focale du scanner. Il s'agit de la zone de précision dans laquelle il est capable d'enregistrer. Une position trop éloignée a tendance à inclure des images de faible précision (21) ou à empêcher l'acquisition.

### ***Stratégie de scannage***

Afin de respecter les distances focales et de permettre une acquisition la plus exacte et reproductible possible, les fabricants recommandent un chemin à suivre lors de la numérisation de l'arcade (22).

De nombreux articles ont comparé différentes stratégies en fonction des CIO. Depuis l'article de Dr. Ender et Dr. Mehl en 2013 (22) (Figure 9), les articles s'accordent à dire qu'il existe des légères variations de la précision des caméras en fonction des stratégies (23–25). Même si les études ne semblent pas converger dans une unique direction à propos de cette question, des travaux récents ont rapporté une différence pour la caméra de la marque iTero uniquement (26).



**Figure 9.** Différentes stratégies de scannage : (A) Extérieur, intérieur, (B) Quadrants, (C) Sextants, (D) Séquentiel. (22)

### *Anomalies de reconstitution*

Une majeure partie du travail de la prise d’empreinte s’effectue au moment de la reconstitution des points enregistrés afin de former un volume exploitable numériquement. La qualité de l’empreinte est dépendante des triangles qui la compose (3). Pour avoir une meilleure précision, les triangles doivent être les plus petits et les plus isocèles possible (27). Cependant, beaucoup d’articles relèvent le fait que le nombre de triangles n’est pas corrélé à la précision de l’empreinte (28). Ceci révèle les différences des algorithmes contenus dans les différentes CIO. De plus, un trop grand nombre de triangles peut compliquer la reconstitution 3D. De nombreux logiciels incluent des algorithmes qui permettent de réduire le nombre de triangles dans les surfaces planes tout en conservant la complexité des zones d’intérêt (4,28). Une fois le maillage obtenu, un algorithme de lissage vient supprimer l’aspect anguleux. Cela permet d’avoir un volume plus apte à être utilisé par un logiciel de conception de prothèses assisté par ordinateur. Ce lissage est réalisé à partir de moyennes sur chacun des triangles (27), un mauvais positionnement de certains points du maillage peut entraîner une mauvaise reconstitution et un lissage aberrant ou incorrect entraînant une perte d’informations (29), cela s’appelle une erreur de corde (28).

## E. Post-traitement et recueil des données

La reconstitution du maillage, le lissage et la formation du volume exploitable est nommé post-traitement. Certaines marques proposent leur propre logiciel de post-traitement et d'analyse des données alors que d'autres caméras ne réalisent pas ou seulement partiellement cette étape (3), ce qui nécessite un portage du fichier numérique vers un logiciel tiers.

Actuellement, la majorité des CIO sont capable d'exporter des fichiers au format .stl mais cela n'a pas toujours été le cas. Certaines marques possédaient des formats numériques propres (11), utilisable uniquement par leur logiciel de post-traitement et leurs usineuses. Cela n'a pas d'impact lorsque la chaîne numérique propre à la marque est respectée. Il est donc parfois nécessaire convertir les fichiers sous différents formats, ce qui peut être une source de perte d'informations.

Toutes les CIO ont leur protocole propre et sont adaptées à une chaîne numérique. Il convient de bien en étudier les caractéristiques ainsi que le fonctionnement afin de réaliser un choix de caméra raisonné pour un cabinet dentaire.

## F. Les critères de choix d'une caméra

Depuis quelques années, le nombre d'acteurs sur le marché des caméras optiques a augmenté. Pour beaucoup de praticiens le premier critère de choix retenu est celui du prix de la caméra au détriment de la précision de la CIO cependant la fourchette de précision peut varier jusqu'à un facteur onze dans le même article en fonction des marques (30). Le tarif de base d'acquisition d'une CIO quant à lui peut varier du simple à plus du triple en fonction du modèle (31). A noter que certaines caméras peuvent être moins chères à l'achat mais nécessiter un abonnement à une plateforme en ligne afin de pouvoir accéder à ces mises à jour.

Des fabricants proposent l'intégralité de la chaîne numérique dans un écosystème numérique unique alors que d'autres choisissent de ne commercialiser que la caméra (3). Du fait de la nature ouverte des fichiers numériques un grand nombre d'associations sont possibles. Il devient donc important, lors du choix d'une caméra, de discuter de l'organisation souhaitée et de comment intégrer un CIO à la pratique du cabinet autant qu'au flux numérique qui doit être mis en place (30).

## G. Tableau récapitulatif

MARQUE	3SHAPE		DENTSPLY/SIRONA			ALIGN TECHNOLOGY	MEDIT	CARESTREAM	PLANMECA
MODELE	Trios 3	Trios 4	CEREC BlueCam	CEREC Omnicam	Primescan	iTero	1500	C3600	Emerald
FONCTIONNEMENT	Microscopie confocale	Information non disponible	Triangulation active	Triangulation active lumière bleue	Information non disponible	Microscopie confocale laser	Microscopie confocale laser	Triangulation active	
POUDRAGE	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
EMBOUTS	Autooclavable	Autooclavable	Fixe	Fixe	Fixe ou autooclavable ou usage unique	Usage unique	Autooclavable	Autooclavable	Autooclavable
IA AIDE AU SCANNAGE	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non
OCCCLUSION	Statique	Statique et dynamique	Statique	Statique	Statique	Statique	Statique	Statique en 3 positions	Statique
MONITORING DES ARCADES	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
DIAG DES CARIES	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non
MODULE ODF	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui en option
MODULE IMPLANTO	Oui en option	Oui en option	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui en option
USINAGE CHAIRSIDE	Oui en option	Oui en option	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui en option
TEMPS DE SCAN ARCADE COMPLETE	2 minutes	1 minute 50		4 minutes	1 minute 50	2 minutes 30	2 minutes	5 minutes	4 minutes
TEMPS DE RECONSTITUTION 3D	40 sec	<30 sec	4minutes	4 minutes	2 minutes	1 minute	5 minutes		
CONNECTION LABO	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
FICHIER OUVERT	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
LICENCE ANNUELLE	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non
MISES A JOUR	Inclus	Inclus	Via CEREC Club	Via CEREC Club	Via CEREC Club	Inclus	Gratuit	Payant	Payant

**Tableau 1 : Récapitulatif des caractéristiques des principales caméras optiques sur le marché en 2019 : Adapté de (31). Les colonnes en oranges représentent des caméras récentes que n'étaient pas présentes dans les études sélectionnées dans ce travail.**

Les principales caméras optiques présentes sur le marché ont été passées en revue (31,32). Elles se distinguent par le mode de fonctionnement interne, l'ergonomie, la variété de modules proposés, l'écosystème numérique associé et le modèle économique. Ces caractéristiques permettent de faire la différence parmi la multitude d'offres proposée sur le marché. Cependant, ce tableau récapitulatif ne prend pas en compte la donnée de la précision, que ce soit celle de la caméra ou du système associé.

#### H. Qu'est-ce que la précision ?

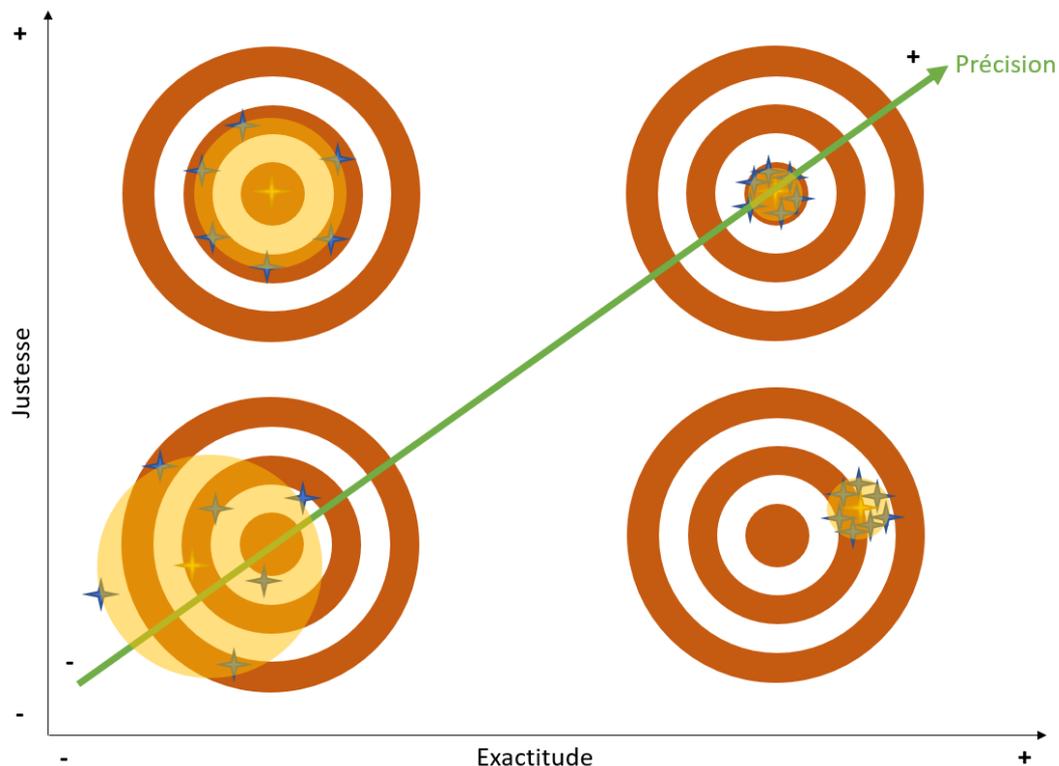
Le Larousse définit la précision comme étant la « qualité d'une mesure ou d'un instrument capable de donner, à très peu près, le même résultat lorsqu'on répète plusieurs fois la même mesure ». Cette définition explique le concept mais elle manque de rigueur scientifique pour être correctement appliquée ici. Il existe pour cela une norme, la norme ISO 5725 qui détermine un cadre plus strict de la notion de précision.

##### ***Justesse et Exactitude***

***-Justesse (Trueness)*** : Représente « l'étroitesse de l'accord entre la valeur moyenne obtenue à partir d'une large série de résultats d'essais et une valeur référence acceptée » (33). C'est la moyenne de plusieurs acquisitions, elle se retrouve au niveau du point cible. Une amélioration de la justesse se traduit par un centrage des valeurs obtenues en direction le centre de la cible (Figure 10).

***-Exactitude (Precision)*** : Représente « l'étroitesse de l'accord entre le résultat obtenu et la valeur cible » (33). Une meilleure exactitude se traduit par une plus faible étendue des résultats obtenus (Figure 10).

***-Précision (Accuracy)*** : Représente l'association de ces deux valeurs, un manque de précision se traduit par une grande étendue de valeurs non centrées sur la cible. Une forte précision à l'inverse sera représentée par une faible étendue de valeurs, centrée sur le point de référence (Figure 10).



**Figure 10 :** Représentation schématique des notions d'exactitude (en abscisse) et de justesse (en ordonnée). Les étoiles bleues représentent les acquisitions successives, l'étoile jaune représente la moyenne des acquisitions et les cercles jaunes l'étendue des valeurs obtenues.

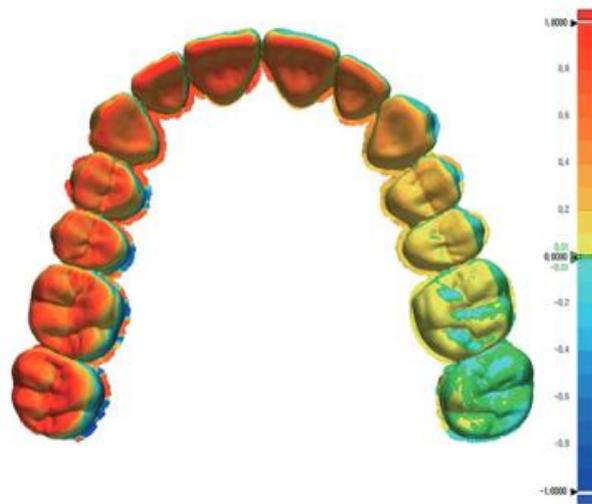
### *Comment connaître la précision d'empreinte optique en 2020*

Bien que définie par une norme ISO, la notion de précision reste relative. Elle sera toujours établie par rapport à une valeur de référence, qui doit être connue avec certitude. Cela est possible pour des études *in vitro* mais devient compliqué lors d'une analyse *in vivo* (11). En effet les précisions étudiées ici peuvent être de l'ordre de la dizaine de microns. A ce jour seuls les scanners de laboratoire sont assez précis pour fournir une valeur de référence (de l'ordre de la dizaine de microns)(10).

En revanche, l'obtention d'une référence pour une étude *in vivo* requiert des moyens détournés car l'utilisation en bouche d'un scanner de laboratoire n'est pas possible. De nouveaux protocoles sont actuellement à l'étude afin de contourner ce problème (34,35). D'autre part la façon de mesurer la précision peut varier en fonction des articles. Il existe deux grandes méthodes de mesure de la précision d'une empreinte optique.

Une des méthodes consiste, à utiliser une empreinte de référence (36) et à analyser les différences de distance grâce à un algorithme de repositionnement. Pour des raisons plus graphiques et facilement

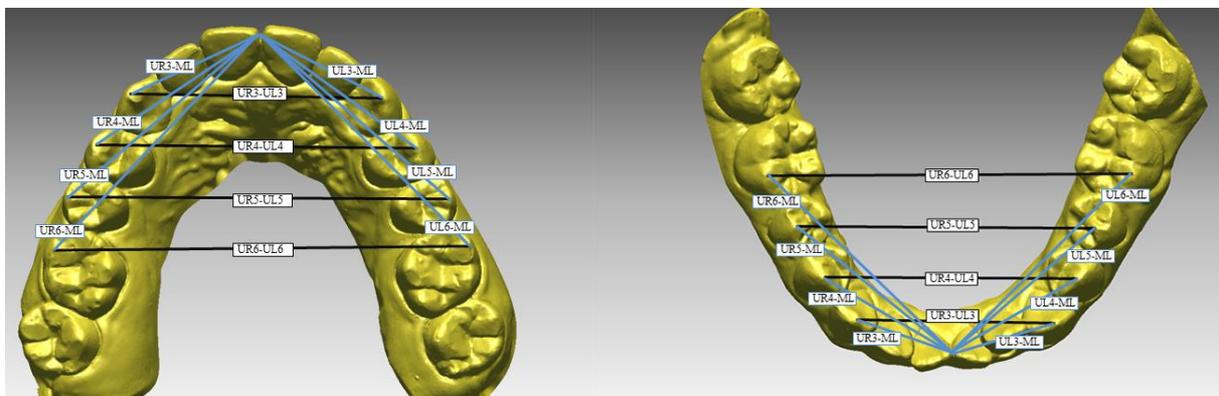
interprétables un gradient de couleur est attribué pour illustrer les variations. Le gradient peut inclure des valeurs négatives (dégradé de bleu sur la figure 11) et des valeurs positives (dégradé de rouge).



**Figure 11** : représentation graphique d'un algorithme de repositionnement d'une arcade complète.

Issu de (20).

Mesure de lignes de référence : Certains articles mesurent la précision en enregistrant la différence de dimension d'une ligne tracée entre des repères fiables de l'empreinte de référence et de celle numérisée (Figure 12). Certaines études *in vitro* ajoutent des surfaces artificielles afin de les mesurer plus facilement (37).



**Figure 12** : Points de référence pour effectuer des mesures dans l'article de Zhang F. et Al (38)

Cette diversité des résultats et de méthodologie sur la précision a motivé notre souhait de réaliser un travail de synthèse pour apporter une information de qualité. Dans le cadre de ce travail une seule technique a été étudiée, celle de l'algorithme de repositionnement. En effet, il s'agit de la technique la plus répandue dans les articles de métrologie dentaire (36)(39)(40). Elle est moins soumise à l'expérience de l'opérateur et considérée comme plus reproductible (39)(40).

### III. Matériel et Méthode

#### A. Méthodologie de l'étude

Cette étude a été conduite à l'aide des guidelines PRISMA (41,42) (Preferred Reporting Item for Systematic Review and Meta-analysis).

#### B. Mots clefs

La recherche d'article a été réalisée sur les bases de données PubMed et Scopus à partir des mots clefs et connecteurs booléens suivants :

Digital AND impression ; intraoral AND digital AND impression ; intraoral AND scanning ; intraoral AND scanner ; intraoral AND digital AND scanner.

Ces mots-clefs ont été sélectionnés afin d'englober le maximum de termes possibles utilisés par la communauté scientifique pour décrire la prise d'empreinte optique par des caméras intra-orales.

#### C. Facteurs d'inclusion et d'exclusion

La recherche bibliographique a été menée sur les bases de données Scopus et PubMed. Afin de simplifier les étapes d'inclusion et d'exclusion des articles, la première démarche à effectuer est celle de la suppression des doublons. Une base de données Access disposant de la fonction de reconnaissance de doublons a permis la réalisation d'un tri automatisée pour passer de 668 entrées à 386 articles différents.

Les articles inclus dans cette étude doivent répondre aux caractéristiques suivantes :

- Être publiés entre Janvier 2013 et Décembre 2018, car il s'agit d'un domaine en grande évolution donc seuls les articles de ces 5 dernières années ont été retenus.
- Traiter d'enregistrement d'arcade complète.
- Article *in vitro* : En effet, les articles *in vivo* rencontrés lors de la recherche bibliographique souffrent d'une forte hétérogénéité méthodologique qui limite les comparaisons.

Critère d'exclusion :

- Articles traitant d'autres domaines que l'odontologie.
- Articles dont l'objectif principal est en lien avec une question sur l'orthodontie, de la prothèse fixe, de l'implantologie.

- Revue systématique, car ces travaux synthétisent les informations déjà présentées dans les articles retenus ou rejetés, ils ne présentent donc pas d'intérêt pour cette étude.
- Article ne traitant que de la précision des caméras par sextant. Ce travail souhaite n'inclure que les articles traitant d'arcades complètes.

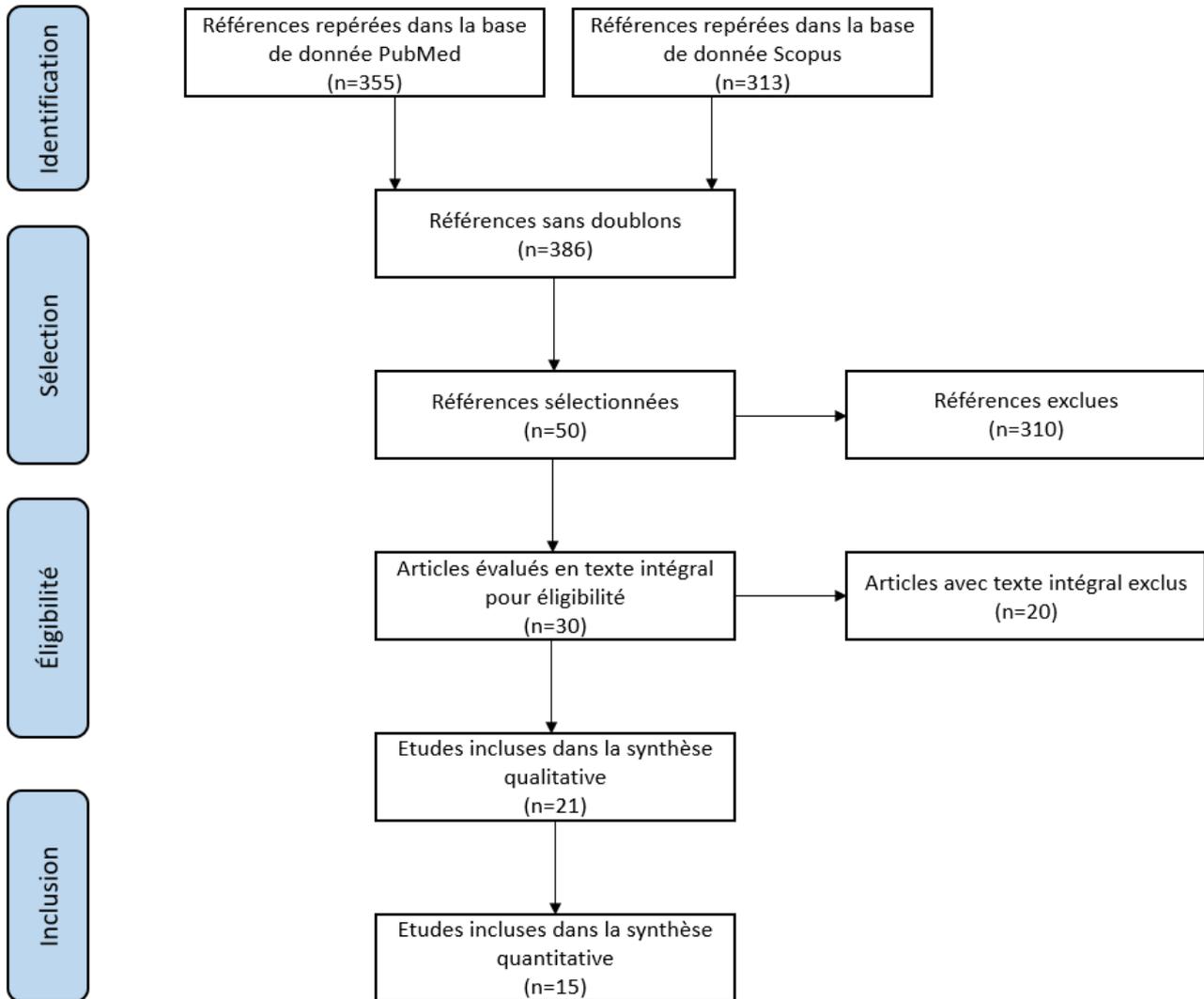
Les articles sélectionnés à ce stade sont étudiés dans leur intégralité. Il convient ensuite de noter les données recueillies et de les mettre en forme.

#### D. Collecte des données

Les articles ont été insérés dans un tableau Excel regroupant les valeurs de justesse et d'exactitude de chacune des caméras étudiées. Afin de les comparer de manière lisible un diagramme de type « en forêt » a été réalisé manuellement. Le diagramme a été légèrement détourné de sa forme habituelle en prenant comme référence non pas une valeur mais un intervalle, celui de la précision d'une empreinte silicone double mélange. Si la précision de la caméra est supérieure à celle du double mélange elle apparaît à gauche de celle-ci, si elle est inférieure elle apparaît à droite. A savoir qu'un intervalle de confiance de précision qui croise ou traverse au moins partiellement la zone de précision du silicone traduit une impossibilité de conclure à une différence de précision des deux techniques.

## IV. Résultats et Discussion

### A. Méthodologie de recherche



**Figure 13** : Méthodologie de sélection et d'inclusion des articles, adaptée à partir du protocole PRISMA (42)

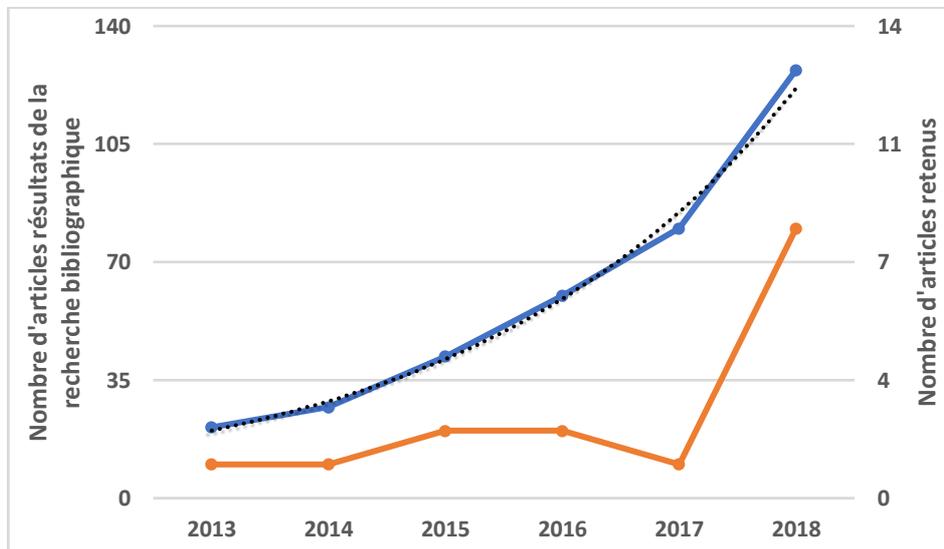
La méthodologie mise en place comme décrite dans le matériel et méthode a été appliquée aux bases de données PubMed et Scopus en suivant la méthodologie de la Figure 13. La sélection a été réalisée sur les 386 articles. Les travaux ne relevant pas du domaine de l'odontologie ont été retirés afin d'aboutir à 258 documents. Parmi eux, sont écartés ceux traitent de l'Orthopédie Dento Faciale (ODF), de la prothèse fixée ou de l'implantologie, cela nous permet d'aboutir à 50 articles traitant de la précision des caméras optiques. Après une lecture de l'intégralité de l'article, 20 documents supplémentaires sont écartés. Afin de pouvoir être inclus dans le travail de synthèse, l'article doit étudier la précision de la CIO par l'utilisation d'un algorithme de repositionnement et cartographie couleur et traiter d'arcade

complète. Huit articles ne respectant pas ces conditions sont exclus. Parmi les 21 articles restants, 5 articles *in vivo* sont écartés car ils ne permettent pas l'utilisation de mesure de référence précise, comme l'est le scanner de laboratoire (10). Finalement un article retenu présente ses résultats sous un format qui ne permettait pas l'extraction des données (23), ce qui a imposé de l'écartier et de conserver au final 15 articles.

Il aurait été possible de réaliser une étude similaire à partir des articles traitant de l'orthodontie ou de l'implantologie par exemple. Même si les résultats n'auraient pas été directement comparables il aurait été intéressant d'analyser une convergence ou divergence des résultats de ces études. De nombreuses études attestent déjà de la précision des caméras optiques pour des empreintes sectorielles et la réalisation de restauration fixe de petite étendue (onlay, couronne ou bridge) avec une adaptation aussi précise voir plus fine que celle d'une restauration réalisée de manière conventionnelle. La question de la transposition de ces résultats à une empreinte complète ou à des restaurations plus globales est encore à l'étude mais sort du cadre de ce travail.

## B. Caractérisation de la question scientifique

### *Nombre de publications par année*



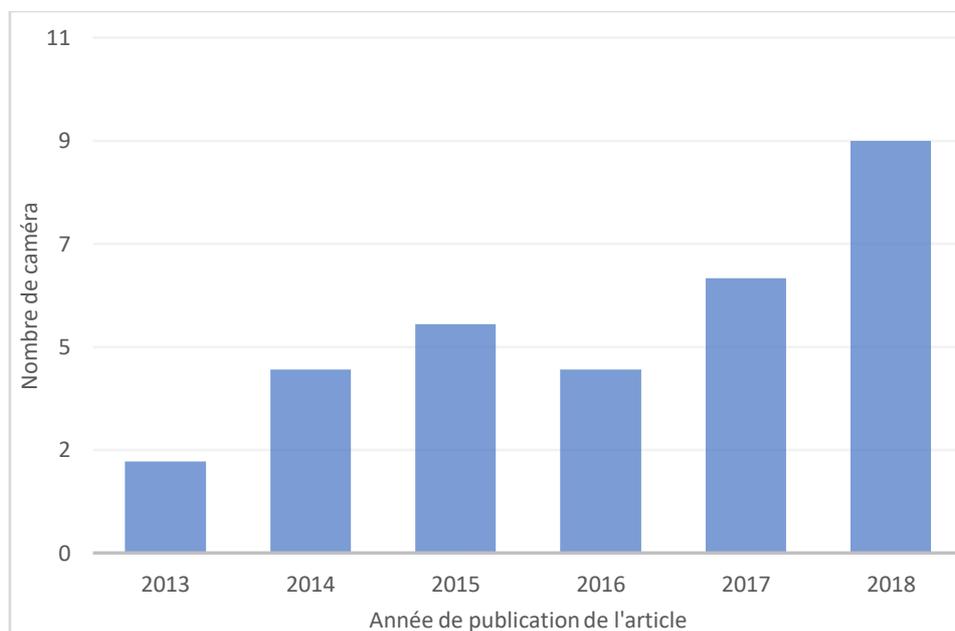
**Figure 14** : Nombre de résultats de la recherche bibliographique par année une tendance exponentielle (courbe en pointillés) en bleu. Nombres d'articles retenus en orange.

Les publications concernant les CIO sont de plus en plus nombreuses. En effet, le nombre d'articles retrouvés à l'aide des mots clefs semble suivre une tendance exponentielle (courbe en pointillés) (figure 14), de 21 articles en 2013, la recherche des bases de données donne 127 occurrences uniques en 2018.

Cela met en valeur l'intérêt croissant de la communauté scientifique vis-à-vis de la question de l'empreinte optique.

La tendance exponentielle semble se vérifier sur l'année 2019 car la recherche par mots clefs donne 180 résultats sur l'année 2019 et d'ores et déjà 126 entrées sur l'année 2020 (au 10 Juin 2020). Les CIO restent un sujet d'intérêt de la communauté scientifique de par le nombre important de publications qu'elles représentent mais cela n'est que peu informatif sur le contenu de ces articles.

### ***Multiplication des acteurs***



**Figure 15** : Evolution de nombre de modèles de caméras dans les articles scientifiques.

Le panorama numérique a beaucoup évolué, comme le montre la Figure 15. En effet en 2013 seuls quatre modèles de CIO étaient représentés dans des études scientifiques retenues alors qu'en 2018 ils ne sont pas moins de onze. A partir de 2015, de nouvelles marques ou des nouveaux modèles de marques déjà présentes sur le marché font progressivement leur apparition dans les études scientifiques. On retrouve de façon parallèle une augmentation du nombre de caméras qui apparaissent dans un article. En 2018 il n'est pas rare de trouver des articles qui référencent 5, 6, jusqu'à 9 références (19,23,43). La tendance est à étudier le panorama global proposé actuellement afin d'essayer d'en dégager des informations qui peuvent être étudiées plus précisément avec des articles ciblés (44). Finalement peu d'articles parviennent à trouver des différences statistiquement significatives entre différents produits (19,23). Ce n'est pas pour autant que toutes les CIO sont équivalentes.

Cet essor n'est pas encore terminé car même si des acteurs anciens ont été écartés des publications, de nouvelles marques et de nouveaux modèles continuent d'apparaître et de faire l'objet d'études. Dans

des publications récentes, parues après la période d'inclusion des articles de cette étude il est question de caméras comme la Primescan, la Medit ou de nouvelles versions de CIO étudiées, comme la CEREC OmniCam 5 ou le mode "insane" de la Trios 3(45). Tous ces nouveaux modèles, modes ou marques sont autant de cibles possibles pour des études plus approfondies concernant leur précision.

### *Uniformisation des logiciels*

L'étape de traitement du fichier numérique est quasiment indissociable de l'étape de prise d'empreinte. Certaines caméras de nouvelles générations font appel à l'intelligence artificielle afin de traiter numériquement l'empreinte avant même la fin de l'acquisition. Dans ces cas-là, aucun portage d'information n'est nécessaire, mais ce n'est pas toujours le cas. Certaines études se sont intéressées quasiment exclusivement à l'étude des différences du fichier observées après un simple traitement numérique de l'empreinte optique selon le logiciel source (celui du fabricant) ou un logiciel tiers, nécessitant une exportation suivie d'un traitement (29). Il se trouve que cette exportation engendre des erreurs, qui bien que mineures constituent un biais lors des comparaisons, les études de Pazelt et al. en 2013 et 2014 (18,30), trouvent toutes les deux une légère différence de précision pour des empreinte de iTero post-traitées par le logiciel DentalWings ou le logiciel 3Shape.

### C. Précision des CIO

L'ensemble des données de Justesse et d'exactitude retrouvées dans les articles sont notées dans les figures 16 et 17. Sur les diagrammes sont notées des valeurs de Justesse et d'exactitude du PolyVinylSiloxane (PVS) retrouvées dans plusieurs articles (45,46) représentée par l'écart-type bleu sur le diagramme. La valeur de justesse et d'exactitude en rouge à 100  $\mu\text{m}$  représente la valeur minimum nécessaire à la réalisation de restaurations prothétiques de grande étendue (40,47). Une valeur de précision supérieure à 100  $\mu\text{m}$  indique que la CIO étudiée n'est pas apte à produire des empreintes assez fiable (manque de justesse) ou assez reproductible (manque d'exactitude) pour envisager des reconstructions de grande étendue.

Ces deux diagrammes proposent une visualisation simple qui permettent une comparaison rapide entre les caméras. A chaque modèle de CIO a été associée une couleur : le trait noir épais représente la valeur moyenne de justesse (Figure 16) ou d'exactitude (Figure 17) retrouvée dans l'article et la boîte colorée représente l'écart-type. Il faut noter que certains articles ne donnaient pas de valeur d'écart-type (24,30).

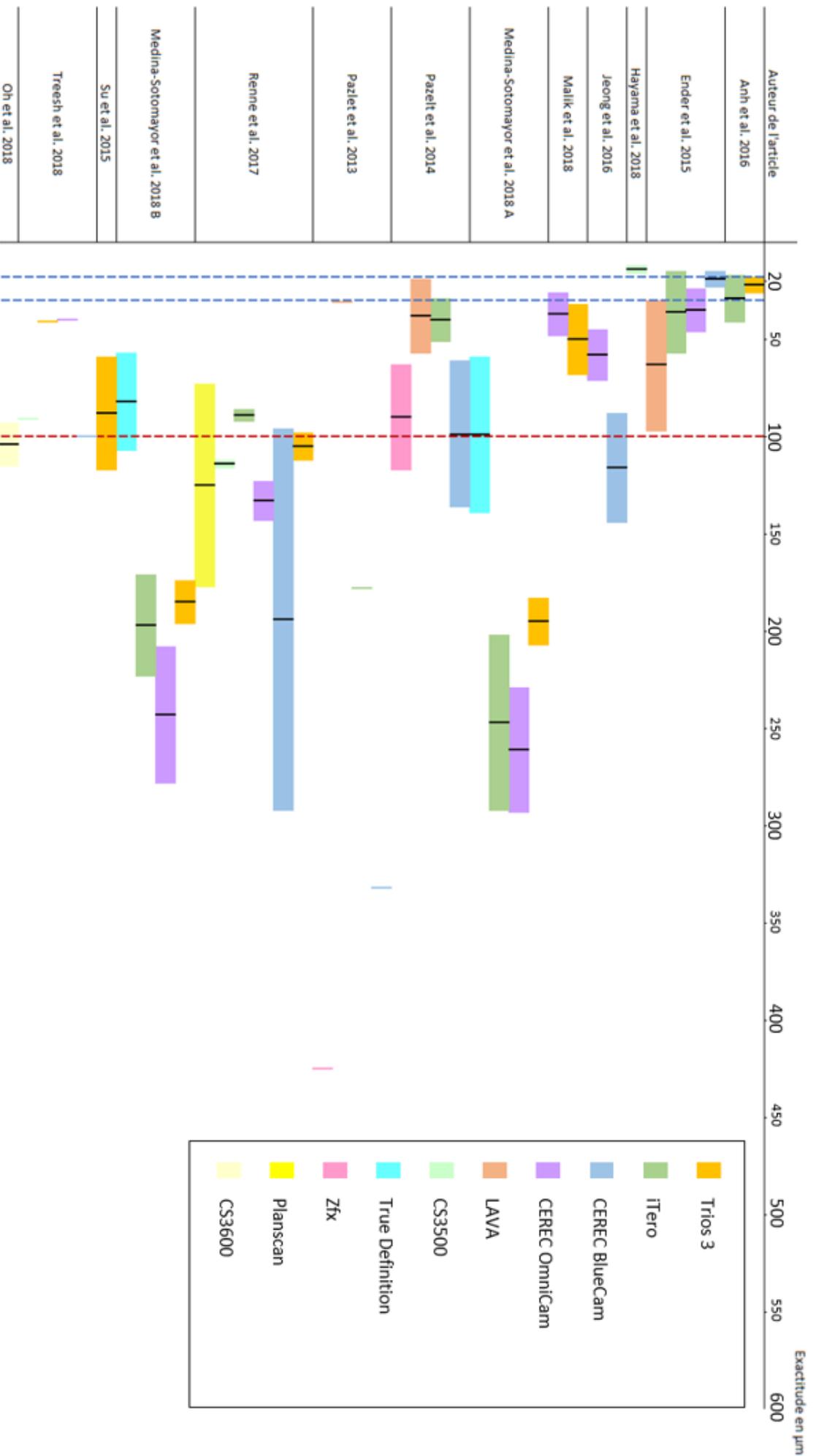
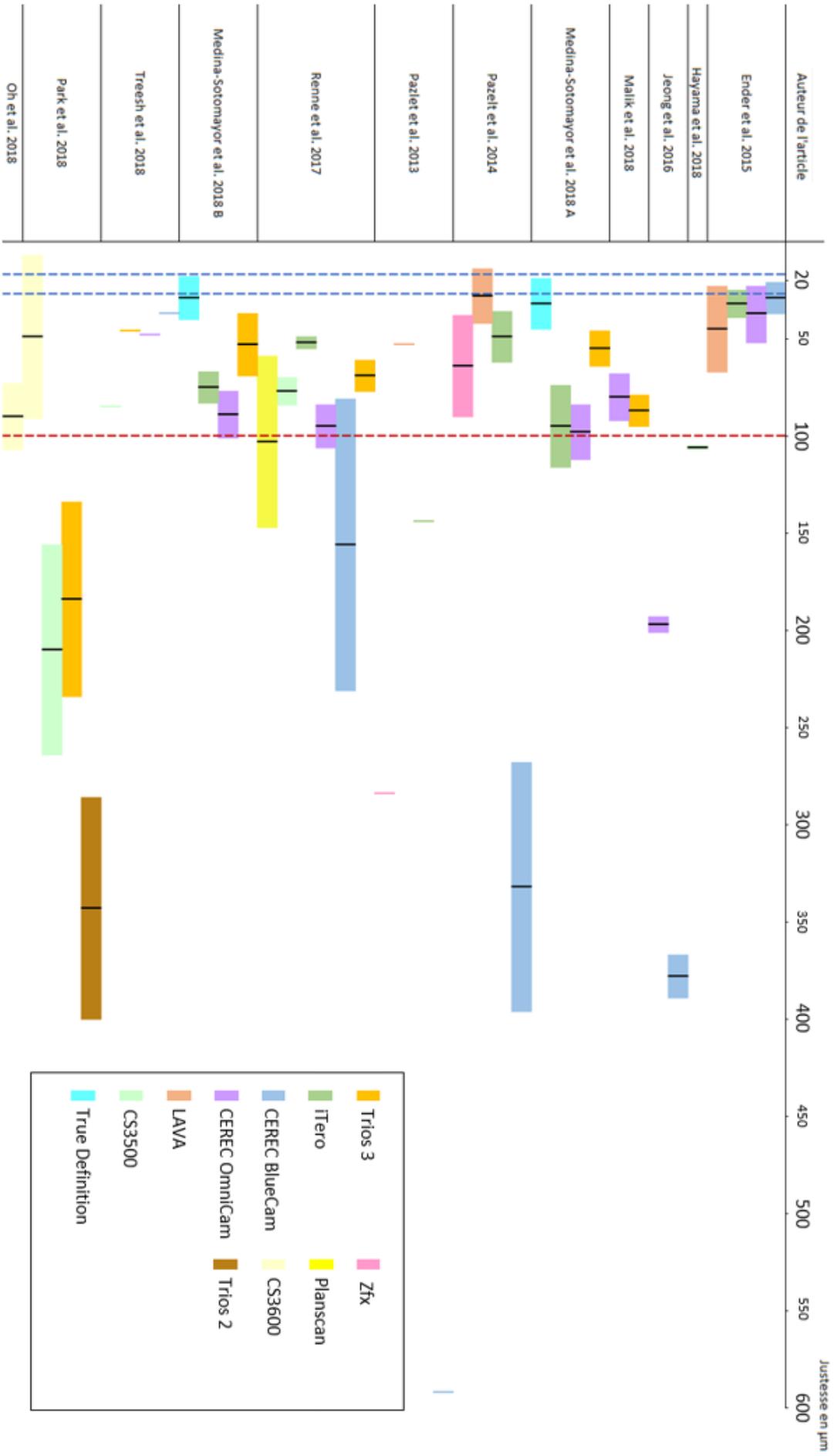


Figure 16 : Diagramme en forêt de l'exactitude des CIO



**Figure 17** : Diagramme en forêt de la justesse des CIO

Il ressort de ces résultats que la justesse des caméras optiques semble en général inférieure par rapport au matériau de référence, le PVS. Parmi les 40 valeurs du diagramme seuls 7 semblent se rapprocher de la justesse du PVS. En ce qui concerne la précision, dix des quarante CIO étaient au-delà de 100 $\mu$ m et sept entrées ont un écart type qui traverse cette valeur.

### 3 Grands types

A partir de ces données il est possible de discriminer différents groupes de CIO :

- les **anciennes générations** (CEREC BlueCam, Trios 2 et Zfx) qui ont en général des valeurs de justesse et d'exactitude très inférieures
- des caméras de **nouvelle génération avec des performances variables** (CS3500, True Definition, PlanScan et Lava COS) qui nécessitent de nouvelles informations
- les caméras de **nouvelle génération avec des performances qui se retrouvent** dans plusieurs études (CS3600, Trios 3, CEREC OmniCam, iTero)

Ces résultats permettent d'apprécier les évolutions apportées par les récentes technologies des caméras. En effet, nous pouvons noter que la CIO d'ancienne génération CEREC BlueCam était environ 2,25 fois moins précise que la Trios 3, plus récente dans l'étude de Renne et al. (19) pour une arcade complète. A l'inverse, La CIO True Definition semble présenter d'excellentes performances, avec de très bonnes valeurs de justesse, une précision qui se rapproche beaucoup du PVS. Il faut noter cependant que des caméras comme la CEREC OmniCam ou l'iTero, sont présentes dans plusieurs études (respectivement 7 et 6) alors que d'autres n'apparaissent qu'une fois, comme la CIO Planscan.

Malgré le faible nombre d'article par année il est possible de remarquer qu'il y a une tendance globale à l'amélioration de la justesse des caméras optiques. Dans l'article de 2013, trois CIO sur quatre étaient au-delà de la limite des 100 $\mu$ m alors qu'en 2018 cela ne représente plus que sept sur vingt.

### Confirmation 2019 2020

Il faut noter que l'analyse de la littérature de 2019 semble confirmer cette tendance. En effet, l'apparition de nouveaux acteurs semble se préciser dans certains articles, comme les CIO Aadvia, Medit, Primescan (45,48,49). Cette nouvelle génération de CIO présente des résultats de justesse et de précision meilleurs que ceux des générations précédentes. De plus, du fait de l'amélioration des logiciels, les anciennes CIO déjà présentes semblent obtenir de meilleurs résultats (49). Il faut cependant rester prudent en ce qui concerne cette analyse, car de nombreuses CIO commercialisées ne sont pas encore analysées par la littérature alors qu'elles sont proposées par les industriels aux chirurgiens-dentistes. Ce constat doit nous amener à la plus grande prudence en ce qui concerne la généralisation de ces résultats. Il semble même plus prudent à l'issue de ce travail de ne pouvoir conseiller que l'achat de caméras récentes qui présentent les meilleurs résultats, et de manière reproductible entre les études. A l'issue de notre travail,

cela pourrait nous amener à recommander principalement les caméras iTero, Trios 3, CS3600 et CEREC OmniCam. Les résultats de ses caméras se sont d'ailleurs confirmés sur 2019 et 2020 puisque les études de Passos et al. et de Ender et al. (45,51) confirment les bons résultats que nous venons de présenter.

Depuis 2019, deux autres CIO semblent proposer des résultats très encourageants aux vues de la littérature récente (Primescan et Trios 4) (51). Il faut noter que ces caméras sont proposées par les industriels qui présentaient déjà les caméras La Trios 3 pour la Trios 4 et la CEREC OmniCam pour la Primescan, ce qui permet de comprendre que cette nouvelle génération de caméra bénéficie des meilleurs avancées technologique de ces industriels.

Il faut enfin noter que les CIO Aadvia et Medit font exception à la règle (52,53). En effet, il s'agit des premiers dispositifs proposés par ces industriels (respectivement GC et i500). Bien qu'ils semblent présenter des résultats très encourageants (48,49), le nombre limité d'études sur cette caméra doit nous amener à conserver une certaine prudence avant de généraliser son utilisation clinique.

#### D) Limites et perspectives cliniques :

Dans ce développement clinique des CIO, de nombreux travaux sous forme de "case report" sur de grandes réhabilitations apparaissent régulièrement dans la littérature (54–56). Bien qu'ayant un faible niveau de preuve, elles témoignent qu'il est possible de retrouver les performances observées *in vitro* dans la pratique clinique, lorsque la caméra est utilisée correctement.

D'autre part, des articles récents utilisent des nouvelles technologies afin de développer des protocoles adaptés à des réhabilitations complètes (57) ou des études *in vivo* (35,50).

De nombreuses études de précision des CIO sont conduite *in vitro*. Cela permet d'avoir une idée de la précision de la CIO et de la comparer aux autres modèles présents sur le marché mais cela a l'inconvénient de ne pas être directement transposable à une utilisation clinique. De ce fait, certaines études s'appliquent à trouver des méthodologies innovantes afin d'obtenir des comparaisons *in vivo*.

Une technique consiste, par exemple, à positionner en bouche des plots de composite (58,59). La distance est ensuite reportée physiquement et comparée à celle obtenue numériquement avec l'empreinte. Il s'agit d'une transposition *in vivo* d'une des techniques décrites dans l'article. Elle a l'inconvénient d'être source d'erreurs par l'opérateur et de ne permettre que des mesures de droite, mais elle s'applique facilement à un nombre important de sujets.

Une autre technique propose d'utiliser des tissus anatomiques de cadavres (50). Un scanner de laboratoire est utilisé afin de numériser un maxillaire avec une grande précision. Cela permet d'avoir plus d'informations sur le fonctionnement des caméras vis-à-vis de restaurations en bouche et vis-à-vis de réfraction des tissus dentaires, mais ne fournit pas d'informations sur l'impact de la salive par exemple.

Enfin un autre protocole propose d'utiliser les scanners faciaux. De nombreux articles étudient leur application pour des plans de traitement globaux (35,60,61). C'est notamment le cas de l'équipe de Nedelcu et al. qui a développé une nouvelle méthodologie à partir de ce scanner pour obtenir un référentiel et ainsi conduire une étude de métrologie (35). Bien que prometteuse, cette technologie doit encore se perfectionner car l'étude n'est pour l'instant possible qu'en vestibulaire et sur les secteurs antérieurs maxillaire et mandibulaire. En effet, les phénomènes de distorsion inhérents à l'empreinte optique sont plus importants sur les secteurs postérieurs (45).

Aucune de ces techniques ne semble donc encore être parfaite, mais elles constituent des pistes de développement pertinent pour parvenir à des études précises des CIO *in vivo*.

## V. Conclusion

L'objectif de ce travail consiste à analyser la précision des CIO. Pour cela une analyse systématique de la littérature a été conduite selon les guidelines PRISMA. La littérature a permis de distinguer trois différentes catégories de CIO actuellement sur le marché.

- Les CIO d'ancienne génération qui ont une plus faible précision.
- Les CIO d'apparition récente dont la précision est encore à confirmer
- Les CIO d'apparition récente dont la précision est presque unanimement reconnue dans la littérature

Le domaine des CIO est encore en constante mutation, mais il semble apparaître deux tendances récentes. Certains industriels font évoluer leur CIO tout en conservant la même technologie. D'autres acteurs profitent de l'essor des CIO pour se lancer sur le marché. Dans ce cas, il n'y a pas de base scientifique solide concernant l'étude ces caméras. Il convient donc d'être encore prudent dans l'analyse de ces CIO et d'attendre l'apparition de plusieurs études de différents auteurs afin de valider la CIO.

Cette analyse des CIO permet de mieux poser les indications de ces outils lorsqu'ils sont utilisés en clinique. Il semble que la précision actuelle des caméras optiques permet une grande variété de travaux prothétiques. Il convient cependant de rester prudent vis-à-vis de ces résultats d'études *in vitro* et de nombreuses études restent encore à réaliser sur ce sujet dans les années à venir.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Arora N, Arora M, Gupta N, Agarwal M, Verma R, Rathod P. Clinical Evaluation of Different Pre-impresion Preparation Procedures of Dental Arch. *J Int Oral Health JIOH*. juill 2015;7(7):80-4.
2. Duret F, Blouin J-L, Duret B. CAD-CAM in dentistry. *J Am Dent Assoc*. nov 1988;117(6):715-20.
3. Tapie L. Understanding dental CAD/CAM for restorations – the digital workflow from a mechanical engineering viewpoint *Dentale CAD/CAM-Systeme zum Zahnersatz verstehen – der digitale Workflow aus Sicht des Maschinenbaus*. *Int J Comput Dent*. :24.
4. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, et al. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression [Internet]. Vol. 2017, *Journal of Healthcare Engineering*. Hindawi; 2017 [cité 8 mai 2020]. p. e8427595. Disponible sur: <https://www.hindawi.com/journals/jhe/2017/8427595/>
5. Zitová B, Flusser J. Image registration methods: a survey. *Image Vis Comput*. oct 2003;21(11):977-1000.
6. Fages M, Descamp F. *La CFAO en odontologie*. 1;
7. Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpelä A, Mäkynen A. Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Opt Lasers Eng*. mars 2014;54:203-21.
8. Nedelcu RG, Persson ASK. Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: An in vitro comparison based on 3-dimensional analysis. *J Prosthet Dent*. déc 2014;112(6):1461-71.
9. Jeong I-D, Lee J-J, Jeon J-H, Kim J-H, Kim H-Y, Kim W-C. Accuracy of complete-arch model using an intraoral video scanner: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. juin 2016;115(6):755-9.
10. dental-lab-3d-scanners---how-they-work-and-what-works-best.pdf [Internet]. [cité 11 mai 2020]. Disponible sur: <https://ww2.3shape.com/-/media/files/white-papers/dental-lab-3d-scanners---how-they-work-and-what-works-best.pdf>
11. Seelbach P, Brueckel C, Wöstmann B. Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. *Clin Oral Investig*. 1 sept 2013;17(7):1759-64.
12. Arakida T, Kanazawa M, Iwaki M, Suzuki T, Minakuchi S. Evaluating the influence of ambient light on scanning trueness, precision, and time of intra oral scanner. *J Prosthodont Res*. 1 juill 2018;62(3):324-9.
13. Blanco D, Fernández P, Cuesta E, Suárez CM. Influence of Ambient Light on the Quality of Laser Digitized Surfaces. 2008;7.
14. Dehurtevent M, Robberecht L, Béhin P. Influence of dentist experience with scan spray systems used in direct CAD/CAM impressions. *J Prosthet Dent*. janv 2015;113(1):17-21.
15. Kim J-H, Kim K-B, Kim S-H, Kim W-C, Kim H-Y, Kim J-H. Quantitative evaluation of common errors in digital impression obtained by using an LED blue light in-office CAD/CAM system. *Quintessence Int Berl Ger* 1985. mai 2015;46(5):401-7.
16. Hategan SI, Ionel TF, Goguta L, Gavrilovici A, Negrutiu ML, Jivanescu A. Powder and Powder-Free Intra-Oral Scanners: Digital Impression Accuracy. *Prim Dent J*. Summer 2018;7(2):40-3.

17. Lim J-H, Park J-M, Kim M, Heo S-J, Myung J-Y. Comparison of digital intraoral scanner reproducibility and image trueness considering repetitive experience. *J Prosthet Dent.* 1 févr 2018;119(2):225-32.
18. Patzelt SBM, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig.* juill 2014;18(6):1687-94.
19. Renne W, Ludlow M, Fryml J, Schurch Z, Mennito A, Kessler R, et al. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. *J Prosthet Dent.* juill 2017;118(1):36-42.
20. Park G-H, Son K, Lee K-B. Feasibility of using an intraoral scanner for a complete-arch digital scan. *J Prosthet Dent.* 1 mai 2019;121(5):803-10.
21. Kim M-K, Kim J-M, Lee Y-M, Lim Y-J, Lee S-P. The effect of scanning distance on the accuracy of intra-oral scanners used in dentistry. *Clin Anat.* 2019;32(3):430-8.
22. Ender A, Mehl A. Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int J Comput Dent.* 2013;16(1):11-21.
23. Kim RJ-Y, Park J-M, Shim J-S. Accuracy of 9 intraoral scanners for complete-arch image acquisition: A qualitative and quantitative evaluation. *J Prosthet Dent.* déc 2018;120(6):895-903.e1.
24. Treesh JC, Liacouras PC, Taft RM, Brooks DI, Raiciulescu S, Ellert DO, et al. Complete-arch accuracy of intraoral scanners. *J Prosthet Dent.* sept 2018;120(3):382-8.
25. Anh J, Park J-M, Chun Y-S, Kim M, Kim M. A comparison of the precision of three-dimensional images acquired by 2 digital intraoral scanners: effects of tooth irregularity and scanning direction. *Korean J Orthod.* 2016;46(1):3.
26. Mennito AS, Evans ZP, Lauer AW, Patel RB, Ludlow ME, Renne WG. Evaluation of the effect scan pattern has on the trueness and precision of six intraoral digital impression systems. *J Esthet Restor Dent.* mars 2018;30(2):113-8.
27. Botsch M, Kobbelt L, Pauly M, Alliez P, Levy B. *Polygon Mesh Processing.* CRC Press; 2010. 244 p.
28. Medina-Sotomayor P, Pascual-Moscardo A, Camps I. Relationship between resolution and accuracy of four intraoral scanners in complete-arch impressions. *J Clin Exp Dent.* 2018;0-0.
29. Effects of cropping, smoothing, triangle count, and mesh resolution on 6 dental topographic metrics [Internet]. [cité 29 avr 2020]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6502444/>
30. Patzelt SBM, Vonau S, Stampf S, Att W. Assessing the feasibility and accuracy of digitizing edentulous jaws. *J Am Dent Assoc.* août 2013;144(8):914-20.
31. Dernières tendances numériques au cabinet dentaire - LEFILDENTAIRE [Internet]. <https://www.lefildentaire.com/consulter-magazine/149-dernieres-tendances-numeriques-au-cabinet-dentaire/>. [cité 4 mai 2020]. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/consulter-magazine/149-dernieres-tendances-numeriques-au-cabinet-dentaire/>
32. Zimmermann M. Intraoral scanning systems – a current overview Intraoralscanner: eine aktuelle Übersicht. *Int J Comput Dent.* :29.

33. 14:00-17:00. ISO 5725-1:1994 [Internet]. ISO. [cité 13 juill 2019]. Disponible sur: <http://www.iso.org/cms/render/live/fr/sites/isoorg/contents/data/standard/01/18/11833.html>
34. Gan N, Xiong Y, Jiao T. Accuracy of Intraoral Digital Impressions for Whole Upper Jaws, Including Full Dentitions and Palatal Soft Tissues. *PLoS One*. 2016;11(7):e0158800.
35. Nedelcu R, Olsson P, Nyström I, Rydén J, Thor A. Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: A novel in vivo analysis method. *J Dent*. févr 2018;69:110-8.
36. Kim BC, Lee CE, Park W, Kang SH, Zhengguo P, Yi CK, et al. Integration accuracy of digital dental models and 3-dimensional computerized tomography images by sequential point- and surface-based markerless registration. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 1 sept 2010;110(3):370-8.
37. Güth J-F, Edelhoff D, Schweiger J, Keul C. A new method for the evaluation of the accuracy of full-arch digital impressions in vitro. *Clin Oral Investig*. sept 2016;20(7):1487-94.
38. Zhang F, Suh K-J, Lee K-M. Validity of Intraoral Scans Compared with Plaster Models: An In-Vivo Comparison of Dental Measurements and 3D Surface Analysis. *PLOS ONE*. 15 juin 2016;11(6):e0157713.
39. Pagano S, Moretti M, Marsili R, Ricci A, Barraco G, Cianetti S. Evaluation of the Accuracy of Four Digital Methods by Linear and Volumetric Analysis of Dental Impressions. *Materials* [Internet]. 18 juin 2019 [cité 13 oct 2019];12(12). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6631156/>
40. Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence Int Berl Ger* 1985. janv 2015;46(1):9-17.
41. PRISMA [Internet]. [cité 13 juill 2019]. Disponible sur: <http://prisma-statement.org/>
42. Gedda M. Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinésithérapie Rev*. janv 2015;15(157):39-44.
43. Güth J-F, Runkel C, Beuer F, Stimmelmayer M, Edelhoff D, Keul C. Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clin Oral Investig*. juin 2017;21(5):1445-55.
44. Hayama H, Fueki K, Wadachi J, Wakabayashi N. Trueness and precision of digital impressions obtained using an intraoral scanner with different head size in the partially edentulous mandible. *J Prosthodont Res*. juill 2018;62(3):347-52.
45. Ender A, Zimmermann M, Mehl A. Accuracy of complete- and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. *Int J Comput Dent*. :9.
46. Malik J, Rodriguez J, Weisbloom M, Petridis H. Comparison of Accuracy Between a Conventional and Two Digital Intraoral Impression Techniques. *Int J Prosthodont*. mars 2018;31(2):107-13.
47. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. mars 2016;115(3):313-20.
48. Osnes CA, Wu JH, Venezia P, Ferrari M, Keeling AJ. Full arch precision of six intraoral scanners in vitro. *J Prosthodont Res*. 1 janv 2020;64(1):6-11.

49. Michelinakis G, Apostolakis D, Tsagarakis A, Kourakis G, Pavlakis E. A comparison of accuracy of 3 intraoral scanners: A single-blinded in vitro study. *J Prosthet Dent* [Internet]. 24 déc 2019 [cité 20 juin 2020]; Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022391319307036>
50. Mennito AS, Evans ZP, Nash J, Bocklet C, Lauer (Kelly) A, Bacro T, et al. Evaluation of the trueness and precision of complete arch digital impressions on a human maxilla using seven different intraoral digital impression systems and a laboratory scanner. *J Esthet Restor Dent*. 1 juill 2019;31(4):369-77.
51. Passos L, Meiga S, Brigagão V, Street A. Impact of different scanning strategies on the accuracy of two current intraoral scanning systems in complete-arch impressions: an in vitro study. *Int J Comput Dent*. 2019;22(4):307-19.
52. Aadvia IOS 100 P | GC Europe [Internet]. 2020 [cité 21 juin 2020]. Disponible sur: <https://europe.gc.dental/en-GB/products/aadvaios100p>
53. Intraoral Scanner Medit i500 | Dental Clinics Solutions [Internet]. Medit. [cité 21 juin 2020]. Disponible sur: <https://www.medit.com/dental-clinic>
54. Clark WA, Duqum I, Kowalski BJ. The digitally replicated denture technique: A case report. *J Esthet Restor Dent*. 11 déc 2018;jerd.12447.
55. Oh KC, Kim J-H, Moon HS. Two-visit placement of immediate dentures with the aid of digital technologies. *J Am Dent Assoc* 1939. 2019;150(7):618-23.
56. Virard F, Venet L, Richert R, Pfeffer D, Vigié G, Bienfait A, et al. Manufacturing of an immediate removable partial denture with an intraoral scanner and CAD-CAM technology: a case report. *BMC Oral Health*. 04 2018;18(1):120.
57. Jung S, Park C, Yang H-S, Lim H-P, Yun K-D, Ying Z, et al. Comparison of different impression techniques for edentulous jaws using three-dimensional analysis. *J Adv Prosthodont*. 1 juin 2019;11(3):179-86.
58. Iturrate M, Lizundia E, Amezua X, Solaberrieta E. A new method to measure the accuracy of intraoral scanners along the complete dental arch: A pilot study. *J Adv Prosthodont*. déc 2019;11(6):331-40.
59. Keul C, Güth J-F. Accuracy of full-arch digital impressions: an in vitro and in vivo comparison. *Clin Oral Investig*. févr 2020;24(2):735-45.
60. Stanley M, Paz AG, Miguel I, Coachman C. Fully digital workflow, integrating dental scan, smile design and CAD-CAM: case report. *BMC Oral Health*. 7 août 2018;18(1):134.
61. Hassan B, Greven M, Wismeijer D. Integrating 3D facial scanning in a digital workflow to CAD/CAM design and fabricate complete dentures for immediate total mouth rehabilitation. *J Adv Prosthodont*. oct 2017;9(5):381-6.

## COUSTANS Cyril- Précision des caméras intra-orales : analyse de littérature

Résumé :

Depuis quelques années la dentisterie assiste à une mutation technique avec l'arrivée en masse d'une nouvelle technologie d'empreinte : les caméras intra-orale (CIO). Il s'agit d'appareils numériques permettant de réaliser des empreintes du patient sans l'aide de produits d'empreinte. Une question se pose alors, « est-ce que toutes les CIO ont des précisions équivalentes sur des arcades complètes ? ».

Afin de répondre à cette problématique, une analyse méthodique a été conduite à partir des bases de données PubMed et Scopus. A l'aide d'une recherche par mots-clefs puis de tri sélectif des articles, 15 articles d'intérêt sont retenus sur la période de 2013 à fin 2018.

Ces résultats font apparaitre des tendances. Premièrement l'engouement ne cesse de croitre autour des CIO. Ensuite la multiplication des acteurs, d'année en année, avec de nouveaux modèles qui sortent sur le marché et qui enrichissent l'offre des CIO. Parmi toutes celles-ci, il est possible de séparer trois catégories : Les CIO d'ancienne génération qui présentent des performances inférieures à celles des deux autres catégories. Les CIO de nouvelle génération avec des performances variables, qui nécessitent plus d'études afin de pouvoir conclure sur leurs performances. Les CIO de nouvelle génération avec des performances qui se retrouvent dans plusieurs études.

Ce travail a donc permis de discriminer ces trois catégories et d'orienter le choix du praticien. Il convient cependant de rester prudent car les articles sélectionnés étaient des articles *in vitro*, et des validations *in vivo* de ces résultats seront nécessaire pour pouvoir les confirmer.

Mots clés : Caméras Intra-orales  
Précision  
Revue de littérature  
Arcade complète

Jury : Présidente Madame la Professeure Catherine MILLET  
Assesseurs Monsieur le Docteur Maxime DUCRET  
Monsieur le Docteur François Virard  
Madame la Docteure Julie Santamaria

Adresse de l'auteur : Cyril COUSTANS  
10 Rue de Sèze  
69006 Lyon 6ème