

U.F.R. D'ODONTOLOGIE

Année 2021

Thèse n°46

THESE POUR L'OBTENTION DU

**DIPLOME D'ETAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE
DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement

Par MENGELLE Camille

Née le 21 juillet 1995 à TARBES

Le Lundi 30 Août 2021

**DESCRIPTION DE L'USAGE DES EMPREINTES
NUMERIQUES DANS LA PRATIQUE DE
L'ORTHODONTIE EN FRANCE**

Sous la direction du Docteur LACAULE Camille

Membres du jury :

Mme BOILEAU Marie José

M. de BRONDEAU François

Mme LACAULE Camille

M. BAZERT Cédric

M. MAKAREMI Masrour

Professeur des Universités

Maître de Conférence des Universités

Assistante Hospitalo-Universitaire

Maître de Conférence des Universités

Spécialiste Qualifié en ODF

Présidente

Rapporteur

Assesseur

Assesseur

Membre Invité

UNIVERSITE DE BORDEAUX

MAJ
11/01/2021

Président M. TUNON DE LARA Manuel

Directeur de Collège des Sciences de la Santé M. PELLEGRIN Jean-Luc

COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE DES SCIENCES ODONTOLOGIQUES

Directrice	Mme BERTRAND Caroline	58-01
Directeur Adjoint à la Pédagogie	Mr DELBOS Yves	56-01
Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche	M. CATROS Sylvain	57-01
Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales	M.SEDARAT Cyril	57-01

ENSEIGNANTS DE L'UFR

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme	Caroline	BERTRAND	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M	Sylvain	CATROS	Chirurgie orale	57-01
M	Raphaël	DEVILLARD	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Véronique	DUPUIS	Prothèse dentaire	58-01
M.	Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques - Biomatériaux	58-01
M.	Jean-Christophe	FRICAIN	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme	Elise	ARRIVÉ	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Audrey	AUSSEL	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mme	Cécile	BADET	Biologie Orale	57-01
M.	Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Michel	BARTALA	Prothèse dentaire	58-01
M.	Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Christophe	BOU	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Sylvie	BRUNET	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01
M.	Jacques	COLAT PARROS	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M,	Jean-Christophe	COUTANT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M.	François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M,	Emmanuel	D'INCAU	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Mathilde	FENELON	Chirurgie Orale	57-01
Mme	Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Dominique	GILLET	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Olivia	KEROUREDAN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M.	Jean-François	LASSERRE	Prothèse dentaire	58-01
M.	Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme	Odile	LAVIOLE	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01

M.	Adrien	NAVEAU	Prothèse dentaire	58-01
M.	Philippe	POISSON	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Johan	SAMOT	Biologie Orale	57-01
Mme	Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mme	Noélie	THEBAUD	Biologie Orale	57-01
M.	Eric	VACHEY	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01

AUTRES ENSEIGNANTS

M.	Cédric	FALLA	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	François	ROUZÉ L'ALZIT	Prothèse dentaire	58-01

ASSISTANTS

M.	Bastien	BERCAULT	Chirurgie Orale	57-01
M.	Baptiste	BERGES	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Mathilde	BOUDEAU	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Virginie	CHUY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M	Pierre-Hadrien	DECAUP	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Laura	DONNET	Biologie Orale	57-01
Mme	Julia	ESTIVALS	Odontologie pédiatrique	56-01
Mr	Pierre-André	GUILLAUD	Parodontologie	57-01
Mme	Jane	GOURGUES	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mr	Louis	HUAULT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mme	Mathilde	JACQUEMONT	Parodontologie	57-01
Mme	Clémence	JAECK	Prothèse dentaire	58-01
Mr	Aymeric	JOUBERT DU CELLIER	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mr	Jean-Baptiste	IRIBARREN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Claudine	KHOURY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Camille	LACAULE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Antoine	LAFITTE	Orthopédie dento-faciale	56-01
Mme	Léa	MASSE	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Aude	MENARD	Prothèse dentaire	58-01
M	Florian	PITEU	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Rawen	SMIRANI	Parodontologie	57-01
Mme	Florianne	VILLAT	Dentisterie restauratrice et endodontie	5801
M.	Clément	VACHEY	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M	Paul	VITIELLO	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Sophia	ZIANE	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Laurie	FUCHS	Odontologie pédiatrique	56-01

REMERCIEMENTS

A notre Présidente de thèse

Madame le Professeur Marie José BOILEAU
Professeur des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section : Orthopédie-Dento-Faciale 56-01

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites de présider ce jury de thèse. La qualité de vos enseignements et votre investissement m'ont beaucoup apporté tout au long de ces années. Je vous remercie de m'avoir transmis avec bienveillance et gentillesse, votre rigueur et votre passion pour l'orthodontie. Voyez en ce travail l'expression de tout mon respect et de ma profonde estime.

A notre Directrice de thèse

Madame le Docteur Camille LACAULE
Assistante Hospitalo-Universitaire
Sous-section : Orthopédie-Dento-Faciale 56-01

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur de diriger ce travail de thèse. Ce fut un plaisir d'être encadrée par une personne aussi réactive et motivée. Je vous remercie également pour votre dévouement au sein du service, ainsi pour votre expertise lors des vacances du mercredi. Vous trouverez dans ce travail l'expression de toute ma reconnaissance et de ma plus grande considération.

A notre Rapporteur de thèse

Monsieur le Docteur François De BRONDEAU

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section : Orthopédie-Dento-Faciale 56-01

Vous me faites l'honneur d'accepter de juger cette thèse en qualité de rapporteur. Votre gentillesse, votre bonne humeur et votre dynamisme malgré votre charge de Chef de Service, ont toujours été des plus appréciables durant ces trois années. Je vous remercie de l'intérêt que vous portez au bon déroulement de notre internat. Veuillez trouver dans ces pages le témoignage de ma reconnaissance et de mon profond respect.

A notre Assesseur

Monsieur le Docteur Cédric BAZERT

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section : Orthopédie-Dento-Faciale 56-01

Je vous remercie pour l'honneur que vous me faites en participant au jury de cette thèse. Je vous remercie également pour vos précieux conseils cliniques, votre rigueur et toutes connaissances que vous m'avez apporté au cours de mon internat. Que cette thèse témoigne de l'admiration et du profond respect que j'ai à votre égard.

A notre Membre Invité

Monsieur le Docteur Masrour MAKAREMI

Docteur en chirurgie-dentaire – spécialiste qualifié en ODF

Ancien assistant Hospitalo-Universitaire

Praticien Attaché

Je vous remercie d'avoir accepté mon invitation et de prendre part à ce jury de thèse. Je vous suis extrêmement reconnaissante de m'avoir fait confiance pour l'élaboration du travail de mémoire qui fera suite à cette thèse.

A l'ensemble du corps enseignant,

De la sous-section ODF, les Docteurs Bardinnet, Darqué, Lafitte et Sampeur, *merci de nous enseigner l'orthodontie avec passion.*

Aux enseignants clermontois, *je vous remercie de m'avoir mené à une réussite que je n'avais osé espérer.*

Aux enseignants bordelais avec qui j'ai eu l'honneur d'échanger, *je vous remercie de la place que vous faites aux internes et à l'ODF au sein de votre pratique de la dentisterie.*

A ma famille et mes amis,

Maman, Papa, *je ne vous remercierai jamais assez pour votre présence à mes côtés depuis toujours. J'espère vous rendre fiers.*

Léa, *merci d'être toi ! Saches que je suis fière de toi ;)*

Les mamies, les papis, Mathy, Carl, *je vous remercie pour votre soutien et vos encouragements sans faille tout au long de ces années.*

A Louis, Alexandre, Catherine et à Jo, *merci de vous être rendu disponibles au début de ma vie « d'adulte », et merci pour ces moments passés pendant mes années clermontoises.*

A Lucie, mon baby, mon amie... *Je ne te remercierai jamais assez pour ta présence la motivation que tu m'as apporté pendant ces années dentaires et la préparation de l'internat. Je serai toujours là pour toi et pour te soutenir dans tes choix, je suis très fière de la personne que tu es.*

A la Réunion et à toute ma promo clermontoise, *merci pour ces années fabuleuses, je n'aurais pas pu rêver mieux. A toutes ces WEI, ces bodegas, ces arrosages et ces concours de belote partagés à vos côtés. J'espère pouvoir vous retrouver bientôt lors du retour du Zorbas Beach. Quoi qu'il arrive, le rendez-vous est pris pour le Gala 2024.*

A Manon, ma plus belle rencontre bordelaise. A notre belle amitié ! Merci pour tout, ce soutien mutuel, ces Deliveroo, cette quantité de bière ingurgitée, et ces nombreux éclats de rires. Même si tu risques de fortement me manquer, je te souhaite beaucoup de bonheur tropical avec Gauthier sous les palmiers calédoniens. Et surtout, je compte sur toi pour faire attention aux requins...

A mes co-internes, sans qui ces presque trois années auraient été d'un ennui mortel... A Sun ma binôme de choc, Luc, Carlota et Chloé, cet internat restera à jamais gravé dans ma mémoire. J'ai déjà hâte que l'on se retrouve, dans quelques mois ou quelques années, le plus loin possible du PQR !

A tous les ODF côtoyés au fil des années, Aurore, Marie, Adrien, Corentin, Marie Douce ;), Clara, Cécile, Eva, Salomé, Berkand, Clara, Joséphine, Camille, Myriam, Hélène, Nathalie et Pénélope, merci pour la solidarité et l'entraide donc vous avez tous fait preuve afin de traverser au mieux les difficultés. J'ai été fière d'être votre « représentante »...

Aux MBD et chir-oraux rencontrés, Joran, Sarah, Simon, Adrien, Yanis et Imane ; Paul, Antoine, Clément, Chloé, Xavier, Sophie et Emma, merci pour toutes ces dents de sagesses et prémolaires généreusement sacrifiées.

A mes amis du lycée, Maxime, Adrien, Raph, PH, Adam, Quentin et tous nos souvenirs de Nouvel An, même si on ne se voit pas souvent, le plaisir de se retrouver chaque été autour d'une petite bière reste inchangé.

Aux rainettes, une deuxième famille et mon échappatoire clermontois. A Mouth, Océane, Choub, Mémère, Clem, Meug, Lisa, Vita, Touk, et toutes celles avec qui j'ai partagé un retour en bus... j'espère vous revoir bientôt !

... et à tous ceux que je n'ai pas cité mais qui m'ont permis d'en arriver là aujourd'hui, je vous en remercie...

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	4
TABLE DES MATIERES	8
TABLE DES ANNEXES.....	10
LISTE DES ABREVIATIONS	10
INTRODUCTION.....	11
PREMIERE PARTIE : État des connaissances	12
I. Empreintes et modèles en orthodontie	12
A. Méthode classique : modèles en plâtre.....	12
B. Acquisition de modèles virtuels.....	12
1. L’empreinte optique et la visualisation des modèles.....	12
2. Modèles numériques obtenus par scan 3D d’un moulage physique ou d’une empreinte	16
C. Impression 3D des modèles.....	18
II. Le numérique et son usage : diagnostic, prise de décision et moyens de traitement.....	20
A. Étude des modèles : diagnostic et planification thérapeutique	20
1. Méthode d’analyse sur modèle physique	21
i. Dysharmonie Dento-Dentaire	21
ii. Dysharmonie Dents-Arcades (DDA)	22
a. Encombrement.....	22
b. Courbe de Spee	24
iii. Montages directeurs	25
2. Analyse sur modèles numériques	25
i. Mesures et analyse : réalisation, intérêt et précision	26
ii. Planification numérique : intérêt, méthode et précision.....	27
B. Utilisation des modèles et moyens de thérapeutiques	29
1. Alineurs	29
i. Principe de conception sur modèles en plâtre.....	29
ii. Intervention du numérique dans la conception d’aligneurs	29
2. Traitements par multi-attaches	31
i. Collage indirect.....	31
a. Méthode de conception classique des gouttières de collage indirect	31
b. Méthode de conception numérique des gouttières de collage indirect	31
ii. Technique linguale	32
iii. Technique vestibulaire	32
3. Appareils orthopédiques et interceptifs	33
4. Apports du numérique dans les traitements orthodontico-chirurgicaux	34
i. Méthode avec modèles physiques.....	34
ii. Méthode numérique assistée par ordinateur	34
5. Dispositifs de contention	36
i. Amovibles.....	36
ii. Fixes.....	37
III. La transition vers une nouvelle interface : quelles difficultés pour le praticien ?.....	38
DEUXIEME PARTIE : Description de l’usage des empreintes numériques dans la pratique de l’orthodontie en France	40
I. Objectif de l’étude	40
II. Matériel et méthode.....	40
A. Schéma de l’étude	40
B. Population étudiée	40
1. Critères d’inclusion	40
2. Critères d’exclusion.....	40
3. Calcul du nombre de sujets nécessaires	41

C.	Élaboration du questionnaire et choix des questions.....	41
1.	« Parlons un peu de vous »	42
2.	Équipements	42
3.	Utilisation.....	43
4.	Diagnostic.....	43
5.	Charge mentale.....	45
D.	Logiciel, validation, enregistrement et diffusion du questionnaire	45
1.	Logiciel : saisie du questionnaire	45
2.	Validation du questionnaire.....	46
3.	Enregistrement auprès du délégué pour les données personnelles.....	46
4.	Mise en ligne et diffusion.....	46
E.	Analyse des données recueillies	46
III.	Résultats	47
A.	Nombre de questionnaires recueillis et équipement des praticiens	47
B.	Description de la population ($n=221$) et données démographiques	48
C.	Statistiques descriptives de l'usage des modèles dans l'échantillon de praticiens non-équipés en matériel numérique ($n=35$)	51
1.	Projets d'équipement	51
2.	Diagnostic et utilisation	52
D.	Statistiques descriptives de l'usage des modèles dans l'échantillon de praticiens équipés en matériel numérique ($n=186$)	55
1.	Équipements	55
2.	Diagnostic et utilisation	59
E.	Charge mentale.....	63
1.	Praticiens non-équipés.....	63
2.	Praticiens équipés	66
IV.	Discussion	68
A.	Méthodologie de l'étude	68
1.	Critères d'inclusion et sélection des sujets	68
2.	Diffusion du questionnaire.....	69
B.	Résultats	70
1.	Mise en perspective des données démographiques.....	70
2.	Équipements et utilisation	73
3.	Diagnostic.....	74
4.	Charge mentale.....	74
5.	Questionnaires incomplets	74
i.	Motifs d'interruption	75
ii.	Analyse des résultats incomplets	76
C.	Estimation des distances sur modèle réel et virtuel : influence sur la prise de décision ?	76
	CONCLUSION.....	78
	ANNEXES.....	79
	TABLES DES ILLUSTRATIONS – GRAPHIQUES – TABLEAUX.....	86
	BIBLIOGRAPHIE	88

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Enquête - Evaluation de l'usage de l'empreinte numérique par les orthodontistes français.....79

LISTE DES ABREVIATIONS

ODF : Orthopédie Dento-Faciale

CBCT : *Cone Beam Computed Tomography*

3D : Trois Dimensions

CFAO : Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur

.stl : format *Stéréolithography*

.dicom : format *Digital Imaging and Communications in Medicine*

PVS : PolyVinylSiloxane

HAS : Haute Autorité de Santé

SLA : Stéréolithographie

DLP : *Digital Light Processing*

FDM : *Fused Déposition Modeling*

SLS : *Selective Laser Sintering*

FFF : *Fused Filament Fabrication*

DDD : Dysharmonie Dento-Dentaire

DDM : Dysharmonie Dento-Maxillaire

M1 : première Molaire Permanente

DDA : Dysharmonie Dents-Arcades

SFODF : Société Française d'Orthopédie Dento-Faciale

ED : Espace Disponible

EN : Espace Nécessaire

PGA : Poly Glycolic Acid

CAD/CAM : Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing

SQODF : Spécialiste Qualifié en ODF

ONCD : Ordre National des Chirurgiens-Dentistes

CNO : Conseil National de l'Ordre

INTRODUCTION

La première étape d'un traitement d'orthopédie dento-faciale (ODF) consiste en la réalisation du bilan orthodontique, incluant un examen clinique et l'étude de l'ensemble des examens complémentaires tels que les modèles des arcades et les radiographies. Le praticien établit à partir de ces données le diagnostic, le pronostic et le plan de traitement adapté au patient.

L'évolution technologique ces dernières décennies a introduit de nouveaux outils dans les cabinets d'orthodontie (1). Outre la généralisation de l'utilisation de logiciels de gestion (2), la dématérialisation totale du bilan orthodontique est désormais possible. Les photographies (exo- et endo-buccales) sont, de nos jours, exclusivement numériques. Les examens radiologiques (téléradiographies, radiographie panoramique, scanners et *Cone Beam Computed Tomography* (CBCT)) et leurs analyses sont aussi essentiellement numériques. Mais qu'en est-il de la fréquence de l'usage des empreintes et des modèles numériques ?

La **décision thérapeutique** est basée sur des mesures concrètes réalisées sur modèles d'étude et interprétées par le praticien en fonction de son expérience et de ses connaissances.

Avec l'essor du numérique, l'utilisation de l'empreinte optique (3) s'est multipliée dans les cabinets d'orthodontie. Cependant, à l'heure actuelle, la fréquence d'utilisation de cette technologie pour le diagnostic et l'analyse des modèles d'étude n'est pas connue. Aucune étude n'ayant pour l'instant été réalisée en France (4), il semble particulièrement intéressant de décrire et analyser les pratiques professionnelles des outils numériques chez les orthodontistes, pour suivre le développement de ces technologies et contribuer à leur amélioration.

Ce travail de thèse comportera donc deux parties. Au sein de la première, une synthèse des connaissances sera réalisée. Elle décrira les différentes techniques qui peuvent être employées pour la réalisation de modèles, de diagnostics et de prises de décisions thérapeutiques, ainsi que l'utilisation des moulages en pratique courante. Au cours de la deuxième partie, la création et la diffusion d'un questionnaire sera détaillée. Il a pour objectif la description des pratiques professionnelles liées à l'utilisation des empreintes numériques. Les résultats seront analysés et un état des lieux, en 2021, de l'introduction de l'empreinte numérique dans les cabinets d'orthodontie français, sera dressé.

PREMIERE PARTIE : État des connaissances

I. Empreintes et modèles en orthodontie

Afin de contextualiser le sujet et de pouvoir élaborer un questionnaire le plus précis et exhaustif possible, il est indispensable de réaliser une synthèse des connaissances en matière d'orthodontie numérique, en particulier sur l'usage des empreintes numériques pour le diagnostic, la prise de décision thérapeutique et la production de moyens de traitement, mais aussi concernant la charge mentale associée à ces tâches.

A. Méthode classique : modèles en plâtre

L'obtention des modèles d'étude est précédée de la prise d'empreintes. Dans la méthode classique, pouvant être qualifiée de traditionnelle, décrite par Bassigny (1991) (5), cette prise d'empreintes est effectuée à l'aide de portes empreintes standards multi-perforés ou anatomiques, garnis d'alginat à prise rapide. A ces empreintes, il faut associer les enregistrements de l'occlusion en inter-cuspidie maximale et en relation centrée, réalisés à l'aide de cires.

Ensuite, les moulages sont coulés en plâtre blanc orthodontique de type III ou IV. La taille des modèles est standardisée et guidée par l'occlusion enregistrée. Elle peut être réalisée selon les critères de la *Fondation Tweed* (« Taille US ») ou selon les critères du *Collège Européen d'Orthodontie* (6).

B. Acquisition de modèles virtuels

1. L'empreinte optique et la visualisation des modèles

Une empreinte optique est réalisée de façon directe, à l'aide d'une caméra intraorale (ou scanner intraoral). Le système de prise d'empreinte quant à lui nécessite la caméra, un ordinateur et un logiciel.

La caméra acquiert de nombreuses images intra-buccales (6000/seconde en moyenne), qui sont ensuite transmises à l'ordinateur ou à l'unité d'acquisition adaptée au modèle de caméra, sur lequel un logiciel traite les données afin de créer un modèle virtuel en trois dimensions.

Comme le décrivent différents auteurs (7) (8), le marché de l'empreinte optique est en perpétuelle évolution et il est difficile de pouvoir citer l'intégralité des caméras disponibles actuellement sur le marché (9).

Les plus répandues en 2019 selon l'article de Casas *et al.* (10) sont :

- Trios3® et Trios4® de *3Shape*
- iTero Element2® et iTero Element5D® de *Align Technology*
- Cerec Omnicam® et PrimeScan® de *Dentsply Sirona*
- CS3600® et CS3700® de *CareStream*
- Emerald® de *Planmeca*
- MEDIT i500® de *MEDIT*
- Lythos® de *Ormco*
- CondorScan® de *Biotech*
- True Definition® de *3M*.

D'un point de vue technique, toutes les caméras ne fonctionnent pas de la même manière.

Il existe 4 types d'acquisitions d'images différents (7) (11) :

- La **triangulation laser**
- La **projection de franges de lumière** (Accordion Fringe Interferometry AFI)
- L'**imagerie parallèle confocale** ou holographie conoscopique (« parallel confocal imaging »)
- L'**acquisition vidéo 3D in-motion** ou vidéo stéréophotogrammétrique

La triangulation :

Ce principe d'acquisition est utilisé par la gamme Cerec Omnicam® de *Dentsply Sirona* et les caméras de *Carestream*. Le système se compose d'un faisceau laser balayant la surface à capturer, d'un récepteur, et d'une caméra numérique qui analyse la distorsion du faisceau laser réfléchi par la surface enregistrée.

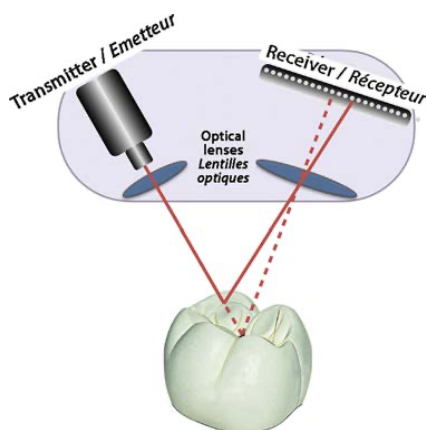


Figure 1 : Triangulation Laser (Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. *International Orthodontics*. 1 juin 2016;14(2):184-94)

La projection de franges de lumière (AFI) :

Ce principe d'acquisition est utilisé par la gamme Lythos® de Ormco. Le scanner projette des franges de lumière à l'aide de filtres qui sont déformées sur les surfaces enregistrées en fonction du relief. Le récepteur, une caméra haute définition, enregistre la déformation des rayons lumineux réfléchis. Le calcul des distances est réalisé au moyen d'une technique similaire à la triangulation.

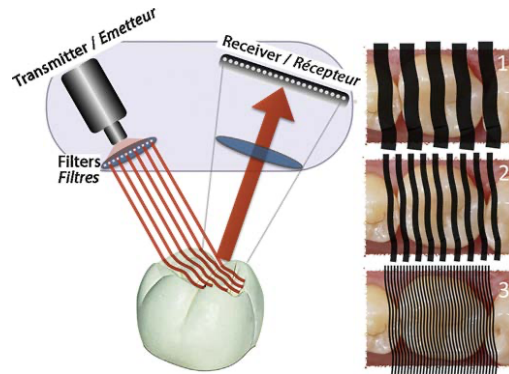


Figure 2 : Projection de franges de lumière (Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. International Orthodontics. 1 juin 2016;14(2):184-94)

L'imagerie parallèle confocale :

Ce principe d'acquisition est utilisé par la gamme Trios® de 3Shape et iTero® de AlignTechnology. Il repose sur la projection de lumière laser à travers un trou de filtrage (appelé sténopé) vers la surface cible. Le récepteur est lui-même équipé d'un sténopé qui ne laisse passer que la lumière réfléchie par la surface d'intérêt à enregistrer. La reconstruction de l'image se fait en utilisant le principe de la tomographie, les milliers de tranches de données sont assemblées pour recréer l'image tridimensionnelle complète. On appelle cela la « point-and-stitch reconstruction ».

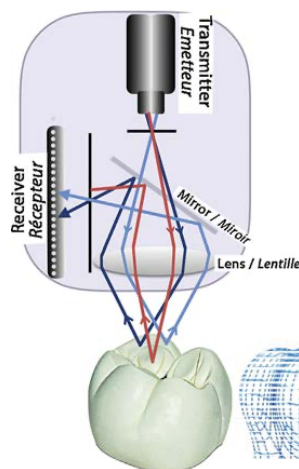


Figure 3 : Imagerie parallèle confocale (Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. International Orthodontics. 1 juin 2016;14(2):184-94)

L'acquisition vidéo 3D in-motion :

Ce principe d'acquisition est utilisé par la gamme True Definition® de 3M et repose sur le principe de la vision binoculaire. Deux ou plusieurs caméras vidéo haute définition vont capter des vues précises simultanées mais avec un point de vue différent. Les coordonnées tridimensionnelles sont déterminées en utilisant au moins deux perspectives différentes.

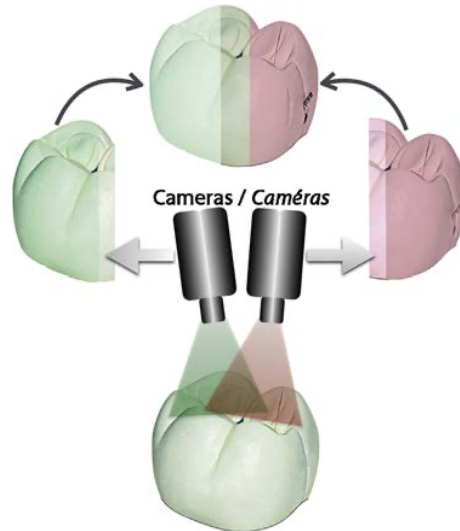


Figure 4 : Vidéo 3D "in motion" : vidéo stéréophotogrammétrique (Lecocq G. *Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. International Orthodontics. 1 juin 2016;14(2):184-94*)

L'ensemble des données récoltées par la caméra sont nettoyées et exploitées par son logiciel interne. C'est lui qui effectue la reconstruction 3D, et qui, si nécessaire, effectue l'extrapolation des zones non enregistrées.

Les anciennes générations de caméras étaient à système « fermé », fonctionnant exclusivement avec le logiciel de conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO) et les usineuses associées au modèle. Désormais, il existe de plus en plus de caméras « ouvertes » permettant après traitement, l'enregistrement du fichier du modèle au format « stéréolithography » (.stl). Dans ce format universel, le modèle pourra être partagé et visualisé sur n'importe quel support disposant d'un logiciel de visualisation 3D.

Les apports d'une telle technologie en orthodontie sont multiples. Ils ont été décrits à de nombreuses reprises (12) (13) (14). Il est important de citer le confort pour le patient, et en particulier les patients jeunes et ceux à réflexe nauséux important. La simplification du stockage et du partage entre le praticien, le patient, le laboratoire et les correspondants est un apport considérable. Cependant, la sécurisation de l'enregistrement et de la diffusion de ces données du dossier médical, reste indispensable. Aussi, une caméra optique représente un investissement : tous les cabinets d'orthodontie ne semblent pas encore avoir franchi le pas de s'équiper.

2. Modèles numériques obtenus par scan 3D d'un moulage physique ou d'une empreinte

Dans ce cas, le terme de méthode indirecte est utilisé pour l'obtention d'un moulage d'étude car toutes les étapes « numériques » sont réalisées au laboratoire. La finalité est l'obtention d'un modèle numérique virtuel tridimensionnel, soigné, et exportable au format *.stl* ou *Digital Imaging and Medical Communications (.dicom)*. Le processus commence obligatoirement par la prise d'empreintes physiques en alginate (ou polyvinylsiloxane (PVS)). Pour l'obtention du modèle numérique, deux méthodes sont à distinguer :

- Les modèles sont coulés en plâtre et seront numérisés dans un scanner pour obtenir les modèles numériques ;
- Les empreintes sont directement positionnées dans le scanner pour la numérisation, et le logiciel reconstituera les modèles positifs numériques.

De même, il existe deux technologies de numérisation :

- La **numérisation tactile**, utilisées par les premiers scanners. Cette technologie « mécanique » emploie des palpeurs qui balayent la surface à numériser. Elle était utilisée pour la numérisation de modèles en plâtre.
- La **numérisation optique par triangulation** : le laser balaye la surface du modèle ou de l'empreinte, la réfraction du rayon laser est analysée par des capteurs, une triangulation est appliquée puis l'algorithme recrée la surface 3D de l'élément scanné (exemple du scanner R700® de *3Shape*).

Actuellement, une vingtaine de scanners de laboratoire sont disponibles sur le marché, capables de numériser des moulages en plâtre ou des empreintes. Ils présentent tous une précision d'au moins 15µm (15).

Dans leur étude (16), Abizadeh *et al.* ont effectué une comparaison de mesures réalisées sur modèle en plâtre (avec un pied à coulisse numérique) et de mesures numériques sur modèle virtuel issu d'un scan 3D du même moulage en plâtre (avec un scanner R250® de *3Shape*, scanner laser). Concernant la reproductibilité des mesures, ils ont trouvé des différences statistiquement significatives entre les deux méthodes pour 8 des 16 mesures réalisées, celles sur modèle en plâtre semblant plus reproductibles que sur modèle numérique. Pour la précision des mesures, il conclue également à des différences significatives entre mesures physiques et numériques, mais ces erreurs systématiques sont très faibles (de l'ordre de 0,14mm pour la mesure de la distance intercanine maxillaire par exemple), et n'ont donc pas de pertinence au niveau clinique. Il en conclue donc que les modèles numériques peuvent être utilisés cliniquement pour la réalisation de mesures à visée diagnostique.

Dans une autre étude (17), il a été comparé une empreinte directe réalisée avec un scanner intra-oral (Lava COS® de 3M ESPE) et une numérisation indirecte issue d'un modèle en plâtre scanné avec le Lava Scan ST® de 3M ESPE, en prenant comme gold standard la mesure par un scanner haute définition du modèle en titane utilisé. En gardant à l'esprit qu'il s'agit d'une étude *in vitro*, la numérisation directe avec la caméra optique Lava COS® a montré une précision significativement plus importante que la procédure avec prise d'empreinte et numérisation indirecte par le Lava Scan ST®. Cependant, cette étude appuie surtout la supériorité de l'empreinte optique directe, et non l'infériorité de la méthode indirecte. En effet, la différence serait issue des déformations enregistrées lors de l'empreinte physique et de sa coulée. L'augmentation du nombre d'opérations augmente le risque d'erreur. Or la prise d'empreintes physiques et la coulée d'un modèle en plâtre étant considérés comme références pour l'obtention d'un modèle d'étude, la différence obtenue lors de cette étude ne s'avère pas cliniquement significative.

Enfin très récemment, Lee *et al.* (18) ont appliqué un protocole similaire en comparant 2 scanners de laboratoire (le D700® de 3Shape et le Cares 3 series® de Straumann) et 3 caméras optiques (CEREC Omnicam® de Dentsply Sirona, iTero HD2.9® de Align Technology et la TRIOS 3 Basic® de 3Shape). Ils n'ont trouvé aucune différence statistiquement significative concernant la précision des mesures linéaires entre les scanners extra-oraux et intra-oraux, bien que le scanner extra-oral Straumann ait démontré la plus grande précision.

Enfin, les praticiens équipés d'un CBCT, ou tomographie volumique à faisceau conique, peuvent avec un logiciel dédié, l'utiliser comme scanner d'empreintes ou de modèles. En effet, en positionnant directement l'empreinte alginate (ou le moulage physique) dans le CBCT, celui-ci peut enregistrer le scan de l'empreinte (ou du moulage) et reconstruire le modèle positif grâce à son algorithme.

Cet examen de radiologie numérique datant des années 1990, utilise une technique d'imagerie sectionnelle tridimensionnelle ciblant les structures osseuses du massif cranio-facial. Il peut se substituer à un scanner, si les indications de prescription respectent les recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS) (19). Des algorithmes créent des reconstructions 3D des images obtenues par le CBCT, permettant leur exportation au format *.dicom*. Plus récemment, plusieurs auteurs ont envisagé l'obtention directe de modèles numériques via la réalisation de cette imagerie (20) (21). Ils ont obtenu des résultats contradictoires, mais ont tout de même conclu que les modèles issus directement d'une imagerie CBCT sont cliniquement acceptables pour la réalisation de diagnostics.

C. Impression 3D des modèles

Par analogie avec la méthode classique permettant d'obtenir un modèle physique en plâtre à partir d'une empreinte alginate, il est possible d'obtenir un modèle physique à partir d'une empreinte numérique. Plusieurs méthodes de fabrication additives ou soustractives sont disponibles. La plus répandue actuellement est additive et permise par l'impression tridimensionnelle (3D) (22). Le fichier *.stl* du modèle numérique est transféré vers un logiciel d'impression 3D dans lequel un nouveau fichier comportant toutes les informations de précision, de taille et de position du modèle est créé au format d'impression. En fonction du type d'imprimante, le modèle imprimé aura une qualité et un coût de revient variable. Enfin, la durée d'impression varie également en fonction du type d'imprimante utilisée.

De nos jours, les principales technologies d'impression utilisées en dentisterie sont (23):

- La Stéréolithographie (SLA)
- La Digital Light Processing (DLP)
- La Fused Déposition Modeling (FDM)
- Le frittage laser ou Selective Laser Sintering (SLS)

Les différents types d'imprimantes sont classés selon leur fonctionnement. Ils ont été répertoriés de la façon suivante (24) :

- **Impression par photopolymérisation** : Les systèmes par photopolymérisation de polymères liquides de résine photopolymérisable sont les plus utilisés. Ils comprennent (25) : la stéréolithographie (**SLA**) (*exemple de l'imprimante Form2® de FormLabs*), le Digital Light Processing (**DLP**) (*exemple de la Nextdent 5100® de 3D Systems*), la technologie Polyjet, ou encore la technique bi-photon (2PP).
- **Impression par liage de poudre** : Les systèmes d'impression 3D par liage de poudre permettent une utilisation de matériaux plus variés et notamment le métal. On retrouve 4 technologies différentes : le frittage laser (**SLS pour Selective Laser Sintering**), la technique E-Beam, la méthode 3DP ou le Multi Jet Modeling
- **Impression par dépôt de matière fondue** : La technologie d'impression par dépôt de matière fondue est principalement représentée par la technique **Fused Déposition**

Modeling (FDM) ou Fused Filament Fabrication (FFF). Ces deux techniques sont identiques mais la FDM faisant l'objet d'un brevet par la société *Stratasys*, le terme FFF est employé par les autres fabricants. Parmi ces imprimantes on peut trouver la ROBOX® de *CELL Technologie*. Les matériaux utilisés sont des plastiques (ABS, Nylon ou PLA) ou des cires.

II. Le numérique et son usage : diagnostic, prise de décision et moyens de traitement

Le diagnostic est, en orthodontie comme dans toutes les disciplines médicales, le point clé de la réussite d'un traitement. Classiquement, le diagnostic orthodontique est obtenu à l'issue d'un bilan complet comprenant une anamnèse, un examen clinique morphologique et fonctionnel, et l'analyse des examens complémentaires (radiographies et moulages). Cette phase sera suivie, si nécessaire, de simulations de traitements (ou *sets-up*), puis d'une prise de décision concernant le plan de traitement et les moyens à mettre en œuvre pour la réalisation des objectifs thérapeutiques.

A. Étude des modèles : diagnostic et planification thérapeutique

Les modèles, encore appelés moulages, sont des éléments incontournables du dossier orthodontique. Ils relèvent d'une obligation médico-légale, et peuvent être conservés physiquement (plâtre, résine) ou numériquement.

Si l'examen clinique peut parfois suffire, les moulages ont l'avantage d'être manipulables et, observés sous tous les angles, donnent un accès aux vues linguales et à une évaluation objective quantitative des paramètres occlusaux intra- et inter-arcades.

Leur étude se fait le plus souvent de manière statique, en occlusion d'intercuspidation maximale ou en relation centrée (si un décalage important existe entre RC et OIM). Il est possible de réaliser un montage en articulateur des moulages afin d'étudier les relations dynamiques (latéralités, propulsion) dans des cas par exemple de dysfonction articulaire, ou même pour réaliser des *sets-up* afin de simuler un traitement (5) (26).

Les principaux paramètres statiques étudiés sur les moulages (27) (28) sont :

- Paramètres intra-arcades :
 - Forme et symétrie des arcades
 - Forme et dimensions dentaires : **Dysharmonie dento-dentaire (DDD)**
 - Mesures pour l'estimation de la dysharmonie dents-arcades (DDA) :
 - Quantité **d'encombrement** ou de diastèmes
 - Profondeur de la **courbe de Spee**
- Décalages occlusaux inter-arcades :
 - Dans la dimension transversale :
 - **Défaut transversal molaire**

- **Défaut transversal canin**
- Dans la dimension sagittale :
 - **Classe molaire d'Angle**
 - **Classe canine**
 - **Surplomb**
- Dans la dimension verticale :
 - **Recouvrement**

1. Méthode d'analyse sur modèle physique

Les paramètres énoncés ci-dessus sont quantifiables en millimètres. La plupart d'entre eux (Classe molaire, classe canine, surplomb, recouvrement) font l'objet d'une mesure linéaire directe, parfois associée à un calcul simple (défauts transversaux molaire et canine). Ceux-ci sont aisément mesurables avec un pied à coulisse. Pour d'autres paramètres comme la DDD et l'encombrement, des mesures et des calculs plus complexes et chronophages sont nécessaires.

i. Dysharmonie Dento-Dentaire

La DDD correspond à l'étude de la discordance de dimension mésio-distale des dents maxillaires et mandibulaires. Il s'agit d'un rapport calculé en denture permanente à l'aide de l'indice de Bolton (29) (30) (31). Il peut être analysé sur l'ensemble de l'arcade ou uniquement sur les secteurs incisivo-canins. Cette DDD peut être dite par « défaut » ou par « excès » d'une arcade par rapport à son antagoniste. Lorsque l'ensemble de l'arcade est étudiée, il faut utiliser l'« *overall ratio* ». Il prend en compte les incisives, canines, prémolaires et la première molaire, soit 12 dents maxillaires et 12 dents mandibulaires :

$$\frac{\text{Somme des diamètres mésio – distaux des 12 dents maxillaires (mm)}}{\text{Somme des diamètres mésio – distaux des 12 dents mandibulaires (mm)}} \times 100$$

$$= 91,3\% \pm 0,26 \text{ (de } 87,5\% \text{ à } 94,8\%)$$

Si ce rapport est supérieur à 91,3%, la DDD correspond à un excès mandibulaire ou défaut maxillaire et si ce rapport est inférieur à 91,3%, la DDD correspond en un excès maxillaire ou défaut mandibulaire.

Lorsque uniquement les secteurs incisivo-canins sont analysés, il faut utiliser l'« *anterior ratio* », prenant en compte les 6 dents antérieures maxillaires et les 6 dents antérieures mandibulaires :

$$\frac{\text{Somme des diamètres mésio – distaux des 6 dents antérieures maxillaires (mm)}}{\text{Somme des diamètres mésio – distaux des 6 dents antérieures mandibulaires (mm)}} \times 100$$

$$= 77,2\% +/ - 0,22(\text{de } 74,5\% \text{ à } 80,4\%)$$

Si ce rapport est supérieur à 77,2 %, la DDD correspond à un excès relatif de largeur du périmètre antérieur mandibulaire se manifestant par des diastèmes maxillaires ou par un encombrement incisif mandibulaire. Si ce rapport est inférieur à 77,2 %, la DDD correspond à un excès relatif de largeur du périmètre antérieur maxillaire.

Pour le calcul de la DDD sur modèle en plâtre, la mesure au pied à coulisse du diamètre mésio-distal de chacune des dents, individuellement, doit être réalisée.

ii. Dysharmonie Dents-Arcades (DDA)

Anciennement appelée Dysharmonie Dento-Maxillaire, ou « *arch length discrepancy* » en anglais, elle a été définie par la Société française d'orthopédie dento-faciale (SFODF) en 2012 comme une « *anomalie caractérisant l'insuffisance ou l'excès de place pour l'alignement des dents à un moment donné. La microdontie relative et la macrodontie relative (Château) en sont les formes cliniques* ». La commission de terminologie de la SFODF l'a cependant renommée DDA (dysharmonie dents-arcades) en 2014, se référant au Federative Committee of Anatomical Terminology (32).

Cette définition globalise l'étiologie des malpositions dentaires où la DDA est un « symptôme » des analyses thérapeutiques réalisées. Dans la plupart des cas, la DDA est associée à d'autres anomalies. En pratique, la DDA comprend la mesure de :

- **L'encombrement**, autrement dit « l'insuffisance ou l'excès de place pour l'alignement des dents à un moment donné »
- L'espace nécessaire au nivellement de la **courbe de Spee**.
- Le **repositionnement incisif** : paramètre indissociable de l'analyse céphalométrique, il est fonction de nombreuses variables (sexe, âge, croissance, ...). De plus, il existe de nombreuses analyses thérapeutiques céphalométriques (Tweed (33), Merrifield, Steiner, Ricketts, ...). Ce repositionnement n'est pas standardisé, il ne peut donc pas être mesuré lors du seul examen des moulages d'étude.

a. Encombrement

L'encombrement est évaluable à l'arcade maxillaire et à l'arcade mandibulaire. Il existe différentes méthodes, basées sur différents indices pour l'évaluation de l'encombrement. La méthode la plus répandue est la **méthode de Nance** (32) (34), définie en 1947. L'indice

d'encombrement correspond à la différence entre l'espace disponible (ED) sur l'arcade et l'espace nécessaire (EN) à l'évolution des dents permanentes, évalué à la mandibule.

$$\text{Encombrement} = \text{ED} - \text{EN}$$

Si l'Esace Nécessaire est supérieur à l'Esace Disponible ($\text{EN} > \text{ED}$), l'encombrement est dit négatif ; si $\text{EN} < \text{ED}$ l'encombrement est dit positif.

Mesure de l'espace nécessaire :

La méthode de mesure de l'**espace nécessaire** passe par la mesure, des dimensions mésio-distales de chacune des prémolaires, canines et incisives sur les modèles en plâtre (pour les dents évoluées) avec un compas à pointes sèches ou un pied à coulisse. La mesure de chaque dent est reportée sur une droite à la suite de la mesure précédente. La somme de ces mesures correspond à l'espace nécessaire.

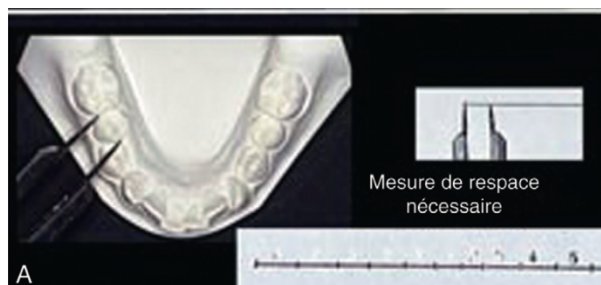


Figure 5 : Mesure de l'espace nécessaire (Boileau MJ, Canal P. Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte Tome 1 : principes et moyens thérapeutiques. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2011.)

Dans le cas de dents non évoluées, il est possible d'estimer le diamètre mésio-distal de la dent sur un cliché radiographique à échelle 100% (radiographie rétro-alvéolaire ou rétro-coronaire réalisée avec un angulateur). Cependant, dans certains cas de dents insuffisamment évoluées (germes) ou en rotation, cette estimation est peu fiable. Dans ce cas, une prévision mathématique, se basant sur des tables statistiques de dimensions dentaires ou sur des équations sont à privilégier.

Mesure de l'espace disponible :

Pour ce qui est de la mesure de l'espace disponible, il existe plusieurs méthodes couramment utilisées :

- **La méthode du fil de laiton** : un fil de laiton est préformé à la pince ou avec les doigts et coupé de manière à joindre les face mésiales des premières molaires permanentes en parcourant le périmètre d'arcade. Une fois remis à plat, le fil peut être mesuré (espace disponible) ou directement comparé au tracé de l'espace nécessaire.

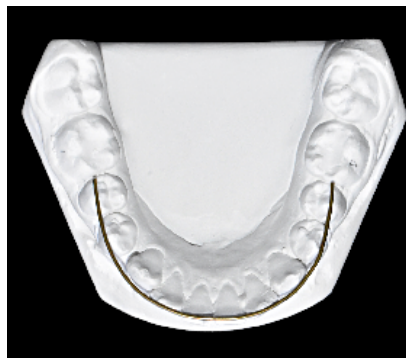


Figure 6 : Méthode du fil de laiton

- **La méthode des secteurs** : chaque hémi-arcade est divisée en 3 secteurs (incisif, canin et prémolaire), mesurés au pied à coulisse ou au compas à pointes sèches, et reportés sur une droite.

Parmi les autres méthodes utilisées pour la mesure de l'encombrement, il est possible de citer peut citer :

- L'indice d'irrégularité de Little (35), évaluant uniquement les malpositions des quatre incisives mandibulaires ;
- L'évaluation segmentaire de Lundström, similaire à l'indice de Nance, il mesure la différence entre ED et EN, mais segmente l'arcade en 6 afin de faciliter cette mesure.

Enfin, Tweed et Merrifield (33) (36) (37) ont adapté la méthode de Nance en réalisant une analyse d'espace en 3 zones (postérieure, moyenne et antérieure). Cependant, ils ne réalisent pas seulement la mesure de l'encombrement, mais prennent en compte d'autres paramètres menant à une réelle évaluation de la dysharmonie dento-maxillaire (DDM). Dans chacune des zones, l'encombrement doit être mesuré comme dans la méthode de Nance (ED-EN), mais à l'espace nécessaire, on doit ajouter :

- Le repositionnement incisif (calculé dans l'analyse céphalométrique de Tweed, dépendant de l'IMPA) ;
- Le nivellement de la courbe de Spee (selon l'indice de Baldrige (38) (39)) ;
- La quantité de croissance attendue.

b. Courbe de Spee

La profondeur de la **courbe de Spee** ne permet pas d'identifier une anomalie à proprement parler, elle doit cependant être quantifiée (tel que réalisé dans l'analyse de Tweed et Merrifield) afin d'anticiper la place nécessaire sur l'arcade pour son nivellement (27). Cette quantification est réalisée par la mesure à l'arcade mandibulaire, de la distance orthogonale entre la pointe

cuspidienne la plus éloignée et un plan reliant le bord libre des incisives et les cuspidés de la dent la plus distale. Pour cela, Baldrige (38) (39) a déterminé l'augmentation d'espace nécessaire entraîné par ce nivellement lors de la mise en place de thérapeutiques orthodontiques fixées, par la formule :

$$Y_c = 0,488(D+G) - 0,51$$

$$\text{arrondi à : } Y_c = 1/2 (D+G) - 0,5$$

Y_c : allongement d'arcade obtenu ou périmètre d'arcade « consommé » par le nivellement.

$D+G$: somme des 2 mesures de plus grand écart (droit et gauche) entre un plan droit appliqué sur l'arcade et les pointes cuspidiennes des dents.

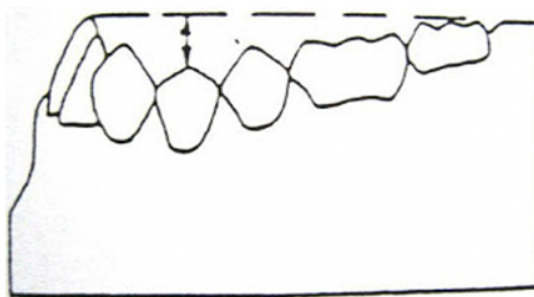


Figure 7 : Courbe de Spee - Baldrige, Doyle W. Le nivellement de la courbe de Spee : son effet sur la longueur de l'arcade mandibulaire. *Revue d'Orthopédie Dento-Faciale* 5, no. 3 (July 1, 1971).p 287-311.

Garcia a adapté cet indice pour les cas de courbe de Spee marquée : $Y_c = 2/3(D+G) + 1$ et la fondation Tweed en a décrit un plus simple à utiliser : $Y_c = 1/2(D+G) + 1$ (40).

iii. Montages directeurs

Une planification ou set-up, dit «de Kesling » (5) (26) consiste, après mise en articulateur, en la découpe des dents en plâtre suivie de leur repositionnement à l'aide de cire dans la position idéale souhaitée en fin de traitement. Il s'agit d'un travail fastidieux, et comprenant de nombreuses étapes faisant perdre en précision (perte de substance lors de la découpe du plâtre, placement des dents dans la cire). Longtemps considéré comme le gold standard de la simulation des traitements, il était réservé à la simulation de traitements complexes ou de substitutions dentaires.

2. Analyse sur modèles numériques

La méthode diagnostique doit être la même que l'on travaille sur modèle physique ou numérique. L'ensemble des paramètres doivent être mesurés et étudiés. Avec l'avènement des empreintes optiques, les manipulations détaillées précédemment peuvent et doivent être également réalisables sur modèles numériques : pour cela, il faut disposer d'un logiciel de

traitement et d'analyse. Plusieurs laboratoires ont développé des logiciels d'analyse des modèles et de planification numérique, dont les étapes peuvent être automatisées ou semi-automatisées. Ils sont devenus des outils indispensables pour le diagnostic et la prise de décision en orthodontie.

i. Mesures et analyse : réalisation, intérêt et précision

Les logiciels présents dans le commerce proposent tous l'outil « mesure » permettant d'effectuer des **mesures linéaires simples**. Pour des mesures plus complexes telles que l'encombrement ou la DDD, il faut d'abord, comme lors de la réalisation d'un set-up, passer par la **segmentation des dents** (ou fractionnement des arcades) en positionnant leurs points de contact mésiaux et distaux. Ces segmentations se font, pour la majorité des logiciels, de manière semi-automatique. Il ne reste à l'opérateur que la vérification des limites et de la position des points de contact ainsi que leur validation. Chaque dent étant segmentée, la mesure de la DDD via l'indice de Bolton est calculée automatiquement. Pour la mesure de l'encombrement, il faut indiquer sur le logiciel l'espace disponible, c'est-à-dire définir la forme et le périmètre d'arcade qui servira de référence.

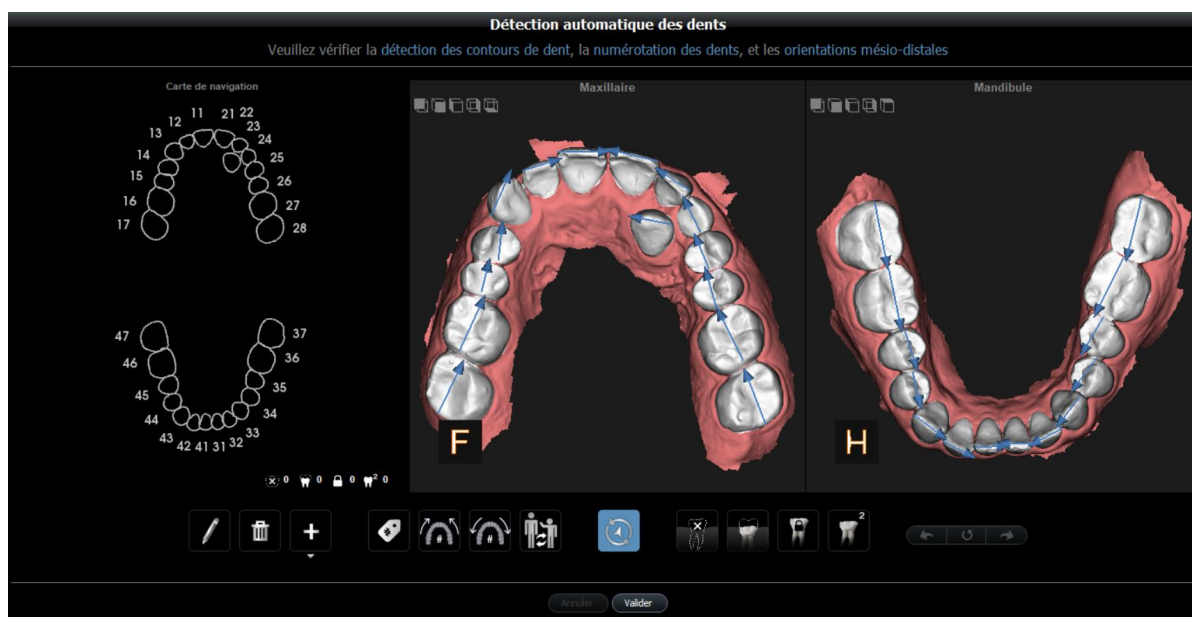


Figure 8 : Segmentation des dents : capture d'écran du logiciel CS Model+ (Carestream Dental) - Courtoisie de M. Leconte C

Compte tenu de l'apparente facilité de réalisation de mesures, même complexes, sur modèles numériques, de nombreux auteurs (41) (42) ont analysé et démontré la fiabilité des mesures réalisées sur ce type de modèles comparé aux mesures sur modèles en plâtre. Souza *et al.* n'ont trouvé aucune différence significative lors de la réalisation de mesures linéaires intra-arcades, par des praticiens entraînés et reproductibles, avec un pied à coulisse numérique sur modèle en plâtre et avec l'outil de mesure du logiciel *Geomagic Studio 5*[®] sur modèle numérique obtenu avec le scanner D-250[®] de *3Shape*. Pour Czarnota *et al.* qui ont réalisé un protocole

similaire, cette fois-ci avec le scanner D700® et le logiciel OrthoAnalyzer® de 3Shape, il a été retrouvé une sous-estimation des distances sur les modèles numériques. Cependant, ces différences et ces erreurs systématiques sont légères et non significatives, notamment du point de vue clinique. Il en conclut donc que la mesure de paramètres sur modèles numériques est une méthode fiable et peut être employée en pratique clinique. Ces études étant relativement anciennes, il est aisé d'imaginer que l'évolution de ces technologies fait que de nos jours, en 2021, l'utilisation de logiciels de mesure ne peut être que plus fiable.

Ces logiciels, généralement fournis par les laboratoires avec la caméra optique, nécessitent un temps d'apprentissage et de paramétrage individualisé des fonctions, afin de les exploiter le plus précisément et le plus efficacement possible.

ii. Planification numérique : intérêt, méthode et précision

L'avantage majeur de l'outil numérique est la possibilité de créer de nombreux **sets-up** sans aucun risque d'endommager les modèles, de les superposer à sa guise, et d'y effectuer toutes les mesures souhaitées afin de réaliser un diagnostic et un plan de traitement adaptés, tout en ayant envisagé les différentes solutions thérapeutiques possibles (43) (44). Cela permet également de simuler, dans les cas ortho-chirurgicaux, les déplacements des bases osseuses en plus de ceux alvéolo-dentaires, grâce au matching des empreintes et des tomographies (45). Ceci est désormais réalisable très rapidement au sein du cabinet d'orthodontie.

Les sets-up peuvent être envoyés à des correspondants, ou même utilisés à des fins thérapeutiques pour la réalisation de traitements individualisés par aligneurs (production des modèles intermédiaires sur lesquels sont réalisées les gouttières) (46) ou multi-attaches (en particulier pour l'individualisation du collage vestibulaire ou lingual en méthode indirecte) (47). Certains laboratoires proposant ces moyens de traitement, confient la réalisation du set-up à leurs techniciens, celui-ci pouvant être contrôlé ou modifié par l'orthodontiste. De plus, ils constituent un excellent moyen de communication avec le patient.

Lors de la réalisation d'un set-up numérique, la première étape consiste en la segmentation des dents. Ensuite, la forme d'arcade peut être individualisée ou choisie parmi des formes préétablies en fonction du matériel utilisé (arcs et brackets). Les dents sont automatiquement déplacées par le logiciel selon les indications données par le praticien (extraction, stripping, obtention de la classe I, ...). Chaque dent peut ensuite être déplacée individuellement pour parfaire le set-up (12). Enfin, il est possible de réaliser un matching entre le modèle et le fichier *.stl* ou *.dicom* issu d'un CBCT afin d'intégrer les axes radiculaires (48). Staderini

et al. (49) justifient l'utilisation de cette technologie pour éviter le recours à une irradiation supplémentaire en cours et fin de traitement pour contrôler l'axe des racines, ce paramètre ayant été initialement pris en compte dans le set-up.

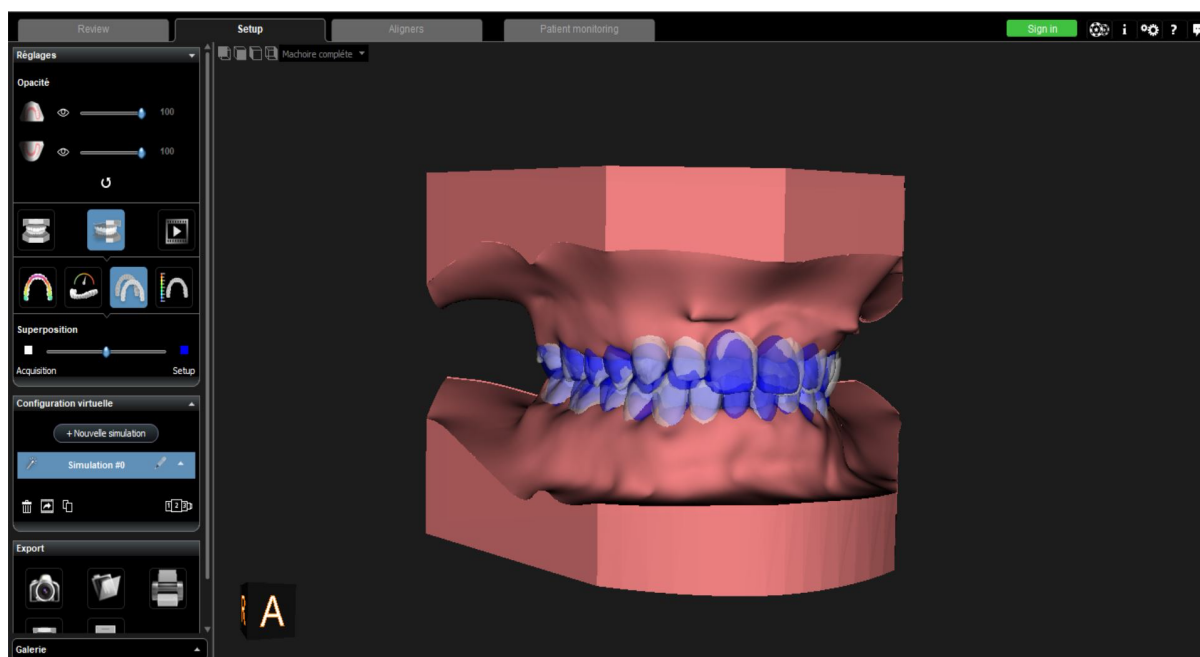


Figure 9 : Réalisation d'un set-up numérique et superposition : capture d'écran du logiciel CS Model+ (Carestream Dental) - Courtoisie de M. Leconte C

Westerlund *et al.* (50) ont comparé en 2015 quatre logiciels d'analyse et de planification orthodontique disponibles sur le marché cette année-là : OrthoCAD® de *Cadent*, O3DM® de *OthoLab*, DigiModel® de *OrthoProof* et OrthoAnalyzer® de *3Shape*. Ils en ont conclu que leur fonctionnement est globalement similaire mais que l'utilisation avancée de ces logiciels nécessite une formation pour les débutants.

Enfin, plusieurs auteurs ont voulu évaluer la précision, la fiabilité et la prédictibilité des **sets-up numériques**. Im *et al.* (51) ont comparé des sets-up manuels (scannés pour analyse avec le scanner optique KOD- 500® de *Orapix*) et virtuels (conçus avec le logiciel 3Txer program® de *Orapix*) dans des cas d'extractions. Après réalisation de mesures intra- et inter-arcades sur les deux types de sets-up, ils n'ont trouvé aucune différence significative. Baretto *et al.* (52) ont voulu étudier la fiabilité des sets-up numérique (réalisés avec le logiciel OrthoAnalyzer® de *3Shape*) en les comparant aux sets-up physiques et aux modèles de fin de traitement (numérisés à l'aide du scanner R-700® de *3Shape*). Après réalisation de mesures linéaires comparatives entre les sets-up et les modèles de fin de traitement, ils n'ont montré aucune différence statistiquement significative et en ont déduit que les sets-up numériques sont aussi fiables et précis que les sets-up physiques. Camardella *et al.* (53) sont également arrivés aux mêmes conclusions.

Il semble donc que l'utilisation de sets-up numériques permette un diagnostic et une planification plus précise et éclairée du traitement, tout en améliorant la communication avec les patients. C'est bien évidemment devenu un outil non négligeable dans l'arsenal de l'orthodontiste, d'autant plus que celui-ci est accessible le plus souvent à partir du logiciel de traitement des modèles numériques, avec une formation rapide.

B. Utilisation des modèles et moyens de thérapeutiques

Dans cette partie, l'intégration et l'utilisation des modèles numériques dans l'arsenal thérapeutique de l'orthodontiste seront décrites. Après analyse de la littérature, leur efficacité et leur précision seront comparées aux méthodes classiques sur modèles physiques.

1. Aligneurs

Les aligneurs sont devenus un moyen de traitement de plus en plus plébiscité par les patients. Ce sont des gouttières thermoformées transparentes, amovibles, en polycarbonate. Elles sont portées par le patient pendant 22 heures sur 24 et sont régulièrement changées. La séquence des gouttières permet la réalisation des mouvements orthodontiques prévus.

i. Principe de conception sur modèles en plâtre

Leur principe a été décrit il y a longtemps, en 1945, par Kesling (54). Il utilisait des gouttières de contention pour effectuer de petits déplacements dentaires. Il envisageait déjà l'idée de réaliser des séries de gouttières pour des déplacements de plus grande importance. Avant l'avènement du numérique, la seule solution pour réaliser ce type de dispositifs reposait sur la réalisation d'un ou d'une séquence de sets-up sur modèles en plâtre et de thermoformer des gouttières sur chacun d'eux. Cette méthode, peu fiable, peu précise et très chronophage, peut encore de nos jours être mise en œuvre pour des déplacements minimes ou de légères récurrences d'alignement. Elle semble aujourd'hui moins adaptée.

ii. Intervention du numérique dans la conception d'aligneurs

L'avènement du numérique a initié une révolution dans le domaine des aligneurs. Leur principe de réalisation repose sur la réalisation de **sets-up**, tel que détaillé précédemment.

Dans le cas d'aligneurs dits « *in house* », le praticien conçoit et réalise ses aligneurs lui-même à l'aide des logiciels disponibles sur le marché et du matériel courant dont il dispose déjà dans son cabinet (camera optique pour empreintes numériques, imprimantes 3D pour impression de modèles, et thermoformeuse sous vide pour les gouttières de contention). Parmi les logiciels

existants, il est possible de citer Dental Studio® de *Maestro 3D* et OrthoAnalyzer® de *3Shape* tous deux comparés dans l'étude de Bajaj *et al.* (55).

Les conclusions de cette étude relèvent deux différences majeures :

- OrthoAnalyzer® génère automatiquement toutes les étapes intermédiaires de traitement, seul le set-up final doit être modélisé par le praticien. Cela conduira à une séquence de modèles à imprimer en 3D, puis chaque aligneur devra être thermoformé individuellement, découpé et poli.
- Dental Studio® demande de nombreuses manipulations informatiques car tous les aligneurs et étapes intermédiaires doivent être générés manuellement. Cependant, il est le premier à proposer des aligneurs non-thermoformés. L'imprimante 3D (de préférence SLS) imprime directement les aligneurs, prêt à être remis au patient.

Enfin, de nombreux **laboratoires** se sont lancés dans la conception et la fabrication d'aligneurs. Parmi eux, Invisalign® de *Align Technology*, leader sur le marché et premier créé en 1999 (46), ou Dentosmile® de *Biotech, OrthoCaps GmbH* avec leurs *TwinAligners®*, *Spark®* d'*ORMCO* et *Clear Correct®* de *Straumann...* Tous ces systèmes répondent aux mêmes procédés de fabrication (56) (57), et font intervenir un technicien qui réalise un set-up numérique via un logiciel (*ClinCheck®* dans le cas d'un traitement *Invisalign®*). Le set-up est proposé au praticien, qui le contrôle, le modifie ou le valide. La succession des étapes nécessaires au déplacement des dents, qui servira de base à la confection de chaque aligneur, est générée automatiquement par l'algorithme du logiciel. Il y est ajouté des éventuels auxiliaires, attachements ou des modifications liées aux accessoires ou phases de traitement nécessaires (découpe pour élastiques, stripping, ...). Chez *Invisalign®*, la totalité du processus de fabrication, y compris la découpe et le polissage, est automatisé (sans manipulation humaine). Cela permet une très grande précision et une fabrication à grande échelle (57).

La fiabilité des aligneurs réalisés numériquement, comparé à la méthode sur sets-up en plâtre, s'explique par la précision des sets-up numériques. De plus, ces technologies permettent la réalisation de séries d'un grand nombre d'aligneurs, et avec un excellent contrôle de la quantité de mouvement réalisé par chacun d'entre eux. Le coût de ces traitements, lié aux frais de laboratoire appliqués ou engendrés, reste très important.

Enfin, très récemment, *Barone et al. 2019 (58)* a réalisé une étude pilote en mettant en place un protocole d'impression 3D directe d'aligneurs en résine *Dental LT Clear®* via une imprimante de technologie DLP. Il en ressort le fort potentiel d'un tel protocole en termes de

faisabilité et d'efficacité mais d'autres études sont nécessaires afin de pouvoir conclure qu'il s'agit d'une bonne alternative aux aligneurs thermoformés.

2. Traitements par multi-attaches

Les traitements par multi-attaches représentent une grande partie de la pratique des orthodontistes. Le recours aux modèles numériques s'est tout d'abord développé pour la réalisation des moulages d'étude, leur analyse et la planification des traitements. L'avènement des **sets-up** a permis de faire évoluer les traitements multi-attaches conventionnels.

Dans ce paragraphe, l'apport des modèles numériques dans le **collage indirect** sera commenté, puis deux techniques thérapeutiques différentes seront détaillées : les **traitements linguaux** et les **traitements vestibulaires**, techniques finalement assez similaires en termes de technologie utilisée pour leur mise en place.

i. Collage indirect

Le **collage indirect** a été décrit dès 1972 par Silverman (59) (60). Cette technique a pour objectifs un positionnement précis des attaches et un collage plus rapide et aisé pour le praticien. En contrepartie, l'étape de conception au laboratoire est significativement allongée. En technique vestibulaire, ce type de collage est mis à profit principalement pour un gain de temps au fauteuil. En technique linguale, le collage indirect semble indispensable pour un collage de qualité, compte tenu de la difficulté d'accès à ces zones, et de la perpétuelle contamination salivaire engendrée par la langue.

a. Méthode de conception classique des gouttières de collage indirect

La mise en œuvre d'un collage indirect commence avec une prise d'empreintes, suivi de la réalisation des modèles en plâtre ou en silicone, puis du positionnement et collage des attaches sur le moulage une à une, pour finir par la confection d'une double gouttière en silicone ou thermoformée (une souple retenant les attaches, et une rigide solidifiant le tout) pour enregistrer et transférer la position des attaches (27).

b. Méthode de conception numérique des gouttières de collage indirect

Actuellement, le collage indirect s'est intégré dans le *workflow* numérique du cabinet d'orthodontie. Les empreintes peuvent être réalisées avec une caméra intra-orale ou un scanner d'empreintes ou de modèles. Sur ces modèles numériques, il est possible de réaliser des analyses, des mesures, des sets-up, ou même de matcher les modèles numériques avec les données issues d'un CBCT permettant de pré-visualiser et de perfectionner le positionnement idéal des attaches (61). Des logiciels comme OrthoCAD® de *Cadent* ou OrthoAnalyzer® de *3Shape* proposent, après

paramétrage en fonction des objectifs thérapeutiques et du matériel utilisé, un système de positionnement automatique des attaches avec prévisualisation de la situation post traitement en temps réel lors de la modification de la position des attaches (62) (63). Une fois le positionnement idéal réalisé, les modèles virtuels sont imprimés en 3D avec des encoches pour positionner manuellement les brackets avant thermoformage des gouttières de transfert.

Plus récemment, avec l'essor des technologies d'impression 3D, il est possible d'imprimer directement les gouttières de transfert, ne restant plus qu'à y insérer les attaches (64). Enfin, *FormLabs* a mis au point des résines, une souple et une rigide, permettant l'impression de ces doubles gouttières de transfert (62).

ii. Technique linguale

Les premiers appareils linguaux ont été mis au point par C. Kurtz dans les années 70. Il mettait en place des brackets vestibulaires en position linguale, et pré-visualisait leur positionnement sur des sets-up en plâtre.

Dans les années 90, l'essor de la CFAO a permis la mise au point des arcs pliés par robotique. Enfin, en 2003, les attaches ont été conçues par CFAO. Actuellement, le principal laboratoire exploitant la technologie numérique pour ses traitements linguaux est Top Service®, créé par Wiechmann et désormais sous le label 3M, où la technique Incognito® a été développé. Le praticien envoie au laboratoire empreintes (numériques ou PVS) et occlusion, accompagnées d'une prescription énonçant les objectifs de traitement. Un set-up est conçu par les techniciens du laboratoire (via le logiciel Unitek® Treatment Management Portal®), le praticien peut l'accepter ou demander des modifications. Une fois validé, Incognito® conçoit des attaches sur-mesure, insérées dans les doubles gouttières de transfert pour le collage indirect (Clear Precision Tray®). Il fabrique également les arcs de section demandée pliés par un robot commandé par un ordinateur.

iii. Technique vestibulaire

Ce système se rapproche de ce qui a été décrit en technique linguale. En effet, un laboratoire propose une procédure similaire : *Ormco* avec son système Insignia™ (65). Tout comme Incognito®, Insignia™ propose un logiciel permettant de planifier, simuler et donc concevoir un traitement totalement individualisé avec des attaches sur-mesure et des arcs pliés par un robot. Le logiciel utilisé est Approver®, et le set-up et le positionnement des attaches peuvent être modifiés par les techniciens du laboratoire ou par le praticien. Dans ce système, le collage des attaches est réalisé à l'aide de jauges de positionnement en silicone, livrées avec les attaches. L'ensemble du système Insignia™ est conçu et fabriqué avec une technologie CFAO (47).

Une étude rétrospective réalisée en 2015 par *Brown et al. (66)* a comparé l'efficacité et la précision clinique des appareils orthodontiques individualisés vestibulaires conçus par CFAO, par rapport aux traitements par multi-attaches standards avec collage direct et indirect. Il en a conclu que les systèmes individualisés conçus par CFAO sont aussi efficaces que les traitements avec des attaches standards. De plus, les durées de traitement et nombre de rendez-vous moins importants en technique individualisée

3. Appareils orthopédiques et interceptifs

L'utilisation du numérique et des modèles virtuels pour la réalisation d'appareils orthopédiques est peu décrite dans la littérature, que ce soit pour les appareils fixes (disjoncteurs principalement) ou amovibles (activateurs monobloc, à bielles, ...).

Le principal avantage des modèles virtuels pour ce type d'appareillage réside dans la simplicité d'envoi au laboratoire, qui évite l'étape de transport et de traitement de l'empreinte. Une fois le fichier parvenu, de manière instantanée, au laboratoire, celui-ci pourra (7) :

- Modéliser directement le dispositif en 3D puis l'imprimer avec une imprimante 3D, choisie en fonction du type d'appareil et donc des impératifs liés à son matériaux (résine, métal, ...). Les logiciels de CFAO disponibles sur le marché sont :
 - o inLab 3D® de *Sirona Dental Systems*
 - o NobelProcera® de *NobelBiocare*
 - o OrthoAnalyzer® et Appliance Designer® de *3Shape*
 - o FreeForm Modeling Plus® de *Geo Magics SensAble Group*
- Imprimer le modèle de travail, en résine ou en plastique, et confectionner l'appareillage sur celui-ci ou sur un duplicata en plâtre, indispensable lors de l'utilisation de certaines résines ou d'exposition à de fortes températures (soudures).

Pour les appareillages fixes, il est possible de s'affranchir de l'étape d'essayage de bagues. Elles seront également réalisées en CFAO et imprimées en 3D avec le même logiciel utilisé pour concevoir virtuellement l'appareil d'interception. Pour la fabrication des éléments métalliques (en chrome-cobalt), il est possible d'imprimer directement la structure métallique (imprimante SLS), ou indirectement une maquette calcinable (imprimantes SLA ou Multi Jet Modeling) qui permettra la création d'un moule puis la coulée du métal (67). Ce protocole s'apparente à celui utilisé lors de la réalisation de châssis métalliques de prothèse amovible partielle.

4. Apports du numérique dans les traitements orthodontico-chirurgicaux

La **chirurgie orthognathique** est un moyen de traitement utilisé lorsqu'une prise en charge orthopédique ou orthodontique simple s'avère insuffisante pour atteindre les objectifs thérapeutiques (fonctionnels et esthétiques). La mise en place d'un protocole orthodontico-chirurgical doit passer par une phase de planification validée par le chirurgien maxillo-facial et l'orthodontiste (27). Avant la chirurgie, une planification du geste est réalisée. Elle permet de simuler la position post-opératoire des bases osseuses, de programmer le geste à réaliser et de confectionner des gouttières de transfert, guides chirurgicaux utiles au chirurgien pour le positionnement des base osseuses en peropératoire. Elles permettent un positionnement précis des arcades dentaires en fonction de l'occlusion simulée lors de la planification, et peuvent être réalisées dans de divers matériaux (résine chémo- ou photo-polymérisable, silicone, Poly Glycolic Acid (PGA), ...) (68). La planification chirurgicale et la confection des gouttières n'a pas échappé à la révolution numérique en marche depuis ces dernières années. Il existe donc actuellement deux techniques de simulation et de réalisation de gouttières : la méthode classique sur modèles en plâtre et la méthode numérique assistée par ordinateur.

i. Méthode avec modèles physiques

La réalisation d'un **set-up chirurgical** commence par la prise d'empreintes, à l'alginate, juste avant la chirurgie (au maximum une semaine avant), afin de s'assurer qu'aucun mouvement dentaire n'aura lieu entre la prise d'empreintes et l'intervention. Cela s'accompagne de l'enregistrement des relations intermaxillaires, idéalement en relation centrée (avec de la cire Moyco®). Les modèles seront à monter sur articulateur à l'aide d'un arc facial ou d'une table de montage. La simulation se fait par mobilisation manuelle des arcades sur l'articulateur, cependant Dahan *et al.* (68) ont mis au point des *Split Cast* mesurant précisément chaque mouvement réalisé (sens transversal et sagittal). Les simulations verticales peuvent être réalisées par des articulateurs proposant cette fonctionnalité (*Artist®* de *Amann Girrbach*). Une fois la simulation réalisée et validée, vient la réalisation des gouttières. Dans cette méthode, il est possible d'utiliser des polyvinyle-syloxanes, de la résine auto-polymérisable, ou de la résine photopolymérisable (résine diméthacrylate Triad VLC® de *Dentsply*), en l'interposant entre les modèles en la façonnant au doigt ou à la spatule, puis en la passant au four à polymériser.

ii. Méthode numérique assistée par ordinateur

Bachelet et al. (69) ont proposé en 2016 un protocole de simulation 100% numérique, aboutissant à l'impression 3D des gouttières. Ils ont réalisé des empreintes numériques à l'aide d'une caméra optique. L'obtention de moulages virtuels est la clé de voûte de ce protocole. Une imagerie tridimensionnelle en relation centrée est également réalisée (CBCT ou

tomodensitométrie) et les deux fichiers obtenus sont « matchés » et insérés dans un logiciel d'articulateur virtuel comme par exemple Dolphin Imaging® ou NemoCeph FAB 3D®. Ils permettent, après segmentation des arcades maxillaires et mandibulaires, la simulation virtuelle des mouvements chirurgicaux, et depuis peu, peuvent également intégrer les tissus mous exo-buccaux à ces simulations via un scanner facial exo-buccal. Le logiciel se charge ensuite de la réalisation virtuelle des gouttières (intermédiaires et terminales), qui sont imprimées en 3D, principalement en PGA.

Cette méthode permet de s'affranchir du travail de laboratoire, assez chronophage, et nécessitant un prothésiste expérimenté dans ce domaine. En effet, le chirurgien peut prendre la main quasi intégralement sur la simulation et la réalisation des gouttières. De même, l'orthodontiste peut collaborer à ce travail, participer à la réalisation des empreintes, et apporter ses modifications, même à distance.

Certains auteurs se sont penchés sur la précision et la fiabilité des planifications numériques, comparés aux sets-up chirurgicaux réalisés manuellement.

En 2019, Ho *et al.* (70) a réalisé une étude clinique prospective comparant la précision des simulations virtuelles aux sets-up en plâtre pour des patients classes III asymétriques traités par chirurgie bi-maxillaire. Il a réalisé la moitié des sets-up par méthode classique et la moitié à partir d'empreintes optiques. Il a été conclu que l'empreinte optique et la simulation virtuelle de l'occlusion est une méthode fiable pouvant être utilisée dans les traitements par chirurgie orthognathique.

Chin *et al.* en 2017 (71) dans son étude clinique prospective a réalisé des planifications virtuelles utilisant le matching d'une imagerie 3D obtenue par tomodensitométrie ou CBCT et des moulages virtuels obtenus par empreinte optique sur 10 patients nécessitant une chirurgie orthognathique. Il a utilisé le logiciel de simulation Dolphin Imaging 11.8 Premium® (*Dolphin Imaging and Management Solutions*) et des gouttières réalisées par technologie *Computer-aided design and Computer-aided manufacturing (CAD/CAM)*. Il en ressort que la réalisation d'un set-up virtuel et des gouttières par CAD/CAM facilitent la planification du traitement et offrent un résultat chirurgical précis.

En 2015, Zinser *et al.* (72) a mis au point un protocole de planification virtuelle en 3D et comparé les résultats chirurgicaux post-opératoires sur céphalométrie 3D de deux groupes : le premier opéré avec des gouttières réalisées en CFAO et l'autre avec des gouttières confectionnées classiquement sur modèles en plâtre. Il en a conclu que les gouttières réalisées après planification

numérique et CFAO offrent une approche fiable, innovante et précise pour le transfert de la planification 3D, qui est plus précise par rapport aux gouttières conventionnelles.

Enfin, en 2014, Adolfs *et al.* (73) a comparé de l'ajustement occlusal per-opératoire de 2 types de gouttières : réalisées après simulation manuelle et imprimées en 3D (par PolyJet réalisées après un set-up virtuel). Sa conclusion affirme que les gouttières conçues numériquement pouvaient être cliniquement utilisables en chirurgie orthognathique.

Il semblerait que l'introduction du tout numérique dans les protocoles orthodontico-chirurgicaux renforce la communication entre orthodontiste et chirurgien, indispensable à la réussite de ces traitements. Cependant, malgré la fiabilité et la précision retrouvée dans la littérature, cette technologie semble relativement peu utilisée par les chirurgiens maxillo-faciaux français (74).

5. Dispositifs de contention

Les dispositifs de contention orthodontiques sont utilisés après la fin du traitement actif, et ont pour objectifs d'empêcher la récurrence et de stabiliser ou parfaire les résultats esthétiques et fonctionnels obtenus. La phase de contention fait partie intégrante du traitement orthodontique et ne doit surtout pas être négligée (75). Elle doit être assurée aussi bien à l'arcade mandibulaire que maxillaire. Il existe deux catégories de dispositifs de contention : amovibles et fixes (76).

i. Amovibles

Cette dénomination englobe les dispositifs passifs sur mesure comme les gouttières de contention, les dispositifs en résine (plaque de Hawley, enveloppe linguale nocturne, ...), et les dispositifs actifs standards ou réalisés sur un set-up comme les tooth positionneurs (77)(75). Les dispositifs en résine sont comparables, en termes de fabrication, aux dispositifs orthopédiques/interceptifs détaillés précédemment. Pour ce qui est des **gouttières de contention**, elles sont assimilables aux aligneurs.

Celles-ci sont réalisées à partir d'une plaque acrylique transparente, appliquée sous vide sur le modèle de l'arcade du patient, puis taillée aux bonnes limites et polie. L'empreinte est prise immédiatement après le retrait de l'appareillage orthodontique actif. Dans le cas d'empreintes numériques, l'empreinte peut être réalisée avant la dépose de l'appareil et le dispositif retiré virtuellement de manière à imprimer le modèle « nu » afin de pouvoir réaliser la gouttière. Ces gouttières sont esthétiques, confortables, et facilement réalisable par le praticien ou le prothésiste.

ii. Fixes

Le **fil de contention**, dispositif de contention mandibulaire le plus utilisé, est habituellement façonné à la main sur un modèle ou directement en bouche (78).

En 2012, l'orthodontiste allemand P. Schumacher a mis au point une contention fixe réalisée par CFAO nommée Memotain® (de *CA Digital*) (79) (80), contraction de *memory* et *retainer*, signifiant qu'il s'agit d'une contention à mémoire de forme. Elle est en nickel-titane, et elle est conçue et fabriquée en CFAO. Sa conception numérique sur mesure permet une parfaite adaptation aux surface dentaires (81) (80). Le fil Memotain® n'est pas plié mais usiné dans une masse de nitinol, ce qui lui donne ses courbures lisses. L'absence de zones de pliures diminue le risque de fracture du fil. Pour sa fabrication, l'orthodontiste doit transmettre au laboratoire des empreinte PVS ou un scan intra-oral (au format *.stl*) des arcades maxillaire et mandibulaire et de l'occlusion. Le fil est positionné virtuellement sur le modèle numérique et d'absence d'interférence occlusale est vérifiée. Cette contention est livrée avec une clé de repositionnement et est collée par collage indirect (82).

Ses avantages, comparés au fil en acier inoxydable multibrins, sont un ajustement parfait, la prévention des interférences occlusales, et la résistance à la corrosion et aux mouvements mineurs des dents grâce à ses propriétés de mémoire de forme. Elle est idéale au maxillaire. Cependant, étant fabriquée par un laboratoire à l'étranger, les délais pour l'obtenir peuvent être de 2 semaines ou plus, d'où la nécessité de réaliser l'empreinte avant la séance de dépose de l'appareillage, sauf dans les cas de traitements linguaux. Enfin, son coût est très important comparé à une contention collée façonnée à la main.

Le matériau utilisé et le processus de fabrication différent du fil SureSmile® (de *OraMetrix*), commercialisé depuis le début des années 2000 (83). En plus de la réalisation de traitements vestibulaires individualisés, SureSmile® réalise ses contentions fixes. Ce système utilise un fil de cuivre-nickel-titane plié par un robot.

Conclusion : à l'issue de cette brève description des différents moyens de traitement utilisés en pratique courante et une rapide analyse de la littérature, il apparait que toutes les nouvelles méthodes employant le numérique et les modèles virtuels en orthodontie sont aussi fiables, précises et reproductibles que les méthodes classiques de traitement et constituent donc des alternatives indispensables à intégrer à notre future pratique. Cependant le coût de ces technologies, souvent non négligeable, constitue certainement le plus grand frein à leur diffusion à grande échelle.

III. La transition vers une nouvelle interface : quelles difficultés pour le praticien ?

La **révolution numérique**, comme illustré précédemment, n'a pas épargné le domaine de l'orthodontie. Elle a complètement bouleversé la pratique de certains orthodontistes.

L'utilisation de modèles numériques impose le recours à la **réalité virtuelle**, aussi nommée **environnement virtuel**. Elle est, selon Burdea et Coiffet (1993) (84), composée de l'immersion, l'interaction et l'imagination. L'immersion et l'interaction doivent être les plus réalistes possibles, et l'imagination permet d'interpréter les paramètres observés. Ellis l'a définie en 1994 de la façon suivante : « *Virtual Reality is an advanced human-computer interface that simulates environment and allows participants to interact with it* ».

Dans ce nouvel environnement, la perception des distances par l'utilisateur se fait différemment. Selon différentes études, ces distances sont le plus souvent sous-estimées (85). Cela serait dû à la réduction du champ de vision en réalité virtuelle (86) qui entraîne une compression de la distance perçue et au fait que la vision à travers un écran augmente optiquement la séparation interoculaire. De plus, il semble que quel que soit la taille du champ de vision, lorsque la quantité d'information sur l'objet est inférieure à 1/3 de l'image, les distances sont sous-estimées. Cependant, la résolution et la fidélité des images semblent des paramètres très importants car elles contribuent à l'optimisation de l'estimation des distances en réalité virtuelle.

Enfin, les modèles dentaires en 3D apparaissent dans un environnement virtuel non-immersif, car ils sont pour l'instant uniquement visionnés à travers un écran, l'interaction se faisant à l'aide d'une souris bi-dimensionnelle, et plus rarement une souris 3D. Le niveau d'interaction et d'immersion dans cet environnement virtuel est donc très faible. Le développement d'applications permettant la création d'un environnement immersif via un casque de réalité virtuelle pour visualiser les modèles est en cours, mais cette technologie n'est pas encore utilisée en pratique quotidienne (87). Il pourrait être intéressant de développer des outils pédagogiques permettant d'accompagner la formation des praticiens dans leur transition numérique, notamment dans la manipulation des modèles virtuels, principal outil de prise de décision, afin d'optimiser leur interaction avec l'environnement virtuel.

Il est important de se questionner sur les difficultés éventuelles que peuvent ressentir les praticiens lors de l'utilisation, nouvelle ou non, de modèles virtuels. A chaque introduction de nouveaux outils dans la pratique courante, une phase d'**apprentissage** est nécessaire afin de

s'approprier cet outil et pouvoir l'exploiter le plus efficacement possible. Cette phase est déjà intervenue chez la plupart des orthodontistes, lors de leurs débuts, quand ils réalisaient leurs mesures sur moulages en plâtre à l'aide de fils de laiton et d'un pied à coulisse (88). C'est avec le temps et la pratique que le praticien a développé et conditionné son cerveau à l'analyse des distances sur moulages en plâtre. L'apparition des empreintes numériques a introduit un nouveau paradigme : le praticien doit désormais apprendre à estimer ces distances sur modèles virtuels de la même façon qu'il l'a appris sur modèle en plâtre. Il faut donc s'interroger sur le besoin pour les praticiens de passer par la comparaison de l'estimation réalisée sur modèle virtuel avec l'estimation sur modèle en plâtre ou la valeur réelle (89).

Ce questionnement est d'autant plus pertinent que la transition vers l'utilisation de modèles virtuels induit la perte d'un sens qui occupe une place importante en orthodontie : **le sens haptique**. Le terme haptique définit un sens qui se rapporte à la sensation du toucher, au ressenti lorsqu'un être vivant touche un objet ou une surface. Ce sens tient donc son origine dans la main. Celle-ci a une fonction perceptive et motrice. Concernant la perception manuelle, elle peut être cutanée ou haptique. Il s'agit d'une perception tactilo-kinesthésique, issue de la stimulation de la peau lorsque qu'elle explore les surfaces et objets avec la main (90) (91). Cette perception et ce sens haptiques disparaissent complètement lors de l'interaction avec un objet virtuel non immersif (92). Il peut être pertinent de se demander si les praticiens sont conscients du déficit sensoriel engendré par l'utilisation de modèles virtuels (93). Certaines situations cliniques peuvent-elles également conduire le praticien équipé en numérique à avoir recours à des modèles physiques ?

En conclusion, le recours au numérique permet de visualiser des données cliniques, cependant l'interaction du praticien avec ses modèles n'est possible qu'à travers un environnement non-immersif. Cet apprentissage fait appel à des processus cognitifs et perceptifs que l'orthodontiste doit apprendre à maîtriser seul, avec la pratique et l'expérience, or les praticiens ont-ils réellement conscience que l'utilisation du numérique peut potentiellement modifier leur prise de décision ?

DEUXIEME PARTIE : Description de l'usage des empreintes numériques dans la pratique de l'orthodontie en France

I. Objectif de l'étude

L'**objectif principal** de ce travail est de décrire la fréquence des praticiens français exerçant l'orthodontie, qui utilisent les modèles numériques dans leur pratique courante et leur répartition sur le territoire.

Les objectifs secondaires concernent la description de l'usage fait de cette technologie à l'échelle diagnostique et thérapeutique, mais aussi d'évaluer la charge mentale que génère son utilisation. Chaque partie du questionnaire a pour but de répondre à un objectif secondaire, les autres questions sont rédigées afin de pouvoir obtenir une description la plus exhaustive possible de l'usage des empreintes numériques en France.

II. Matériel et méthode

A. Schéma de l'étude

Afin de répondre à ces objectifs, une **étude transversale descriptive à visée explicative à l'échelle nationale** a été réalisée. Elle se présente sous la forme d'une enquête déclarative via un questionnaire en ligne créé sur le logiciel LimeSurvey®, et destinée aux praticiens exerçant l'orthodontie en France (*Annexe 1*).

B. Population étudiée

1. Critères d'inclusion

La population cible inclut tous les praticiens, chirurgiens-dentistes et médecins, spécialistes qualifiés ou non, exerçant l'orthodontie en France (métropolitaine et DOM-TOM).

2. Critères d'exclusion

Les critères de d'exclusion ou de non-inclusion comprennent les réponses non enregistrées et incomplètes.

3. Calcul du nombre de sujets nécessaires

La population cible n'ayant jamais été décrite auparavant, il est impossible de définir le nombre de réponses nécessaires pour obtenir des résultats statistiquement significatifs. Cependant, il est possible d'utiliser une formule standard :

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2}{i^2} P(1 - P)$$

n : nombre de sujet nécessaire dans l'échantillon

Z : cote associée au niveau de confiance (ici 95% : z=1,96)

P : proportion estimée de la population qui présente la caractéristique : estimation du nombre de praticiens équipés en matériel d'empreinte numérique.

α : risque d'erreur de première espèce (5%)

i : précision recherchée choisie à 5%

Aucune étude n'a permis d'estimer la proportion (**P**) de praticiens équipés pour la manipulation des empreintes optiques en France. En l'absence de données préliminaires et compte tenu des estimations observées aux États-Unis récemment, nous nous sommes basés sur une estimation de **70%** de praticiens manipulant des empreintes numériques. Dans cette étude référence (94), publiée en 2021 et réalisée sur un panel de chirurgiens-dentistes américains, 67% ont déclaré utiliser les empreintes numériques dans leur pratique courante, et 9% d'entre eux ont affirmé avoir l'intention d'intégrer cet outil à leur pratique dans les 12mois.

Le nombre de sujets nécessaires à l'estimation de la fréquence de praticiens disposant de matériel d'empreintes numériques à une précision de 5% est de **323**.

C. Élaboration du questionnaire et choix des questions

Le questionnaire a été réalisé en suivant les recommandations de l'article de Maisonneuve et Fournier (95). L'exploration des données de la littérature, telles que détaillées dans la première partie de cette thèse, a permis l'élaboration d'un questionnaire exhaustif. La technique de l'entonnoir a été employée, en allant des questions les plus généralistes aux questions les plus précises. Enfin, des questions « filtres » ont été mises en place, conditionnant l'accès aux questions suivantes en fonction des réponses données.

L'enquête se présente principalement sous forme de questions fermées afin de faciliter le recueil et l'analyse des données. Quelques questions semi-ouvertes présentant la réponse « *autre* » et des questions ouvertes à réponse courte (QROC), y ont été ajoutées.

La structure du questionnaire met en évidence 5 blocs « logiques » de questions, regroupées par thème, chacun permettant de répondre à un objectif principal et des objectifs secondaires :

- **Partie 1 : « parlons un peu de vous »** : données démographiques du participant
- **Partie 2 : « équipement »**
- **Partie 3 : « utilisation »** des empreintes numériques en pratique quotidienne
- **Partie 4 : « diagnostic »**
- **Partie 5 : « charge mentale »**, difficultés liées à l'utilisation de l'interface numérique

1. « Parlons un peu de vous »

Les données démographiques correspondent aux questions 1 à 5. Elles permettent de décrire la population pour, si possible, extrapoler les résultats à la population « générale » (intégralité des praticiens exerçant l'orthodontie en France). Elles interrogent le praticien sur :

- Genre
- Tranche d'âge
- Statut :
 - Chirurgien-dentiste spécialiste qualifié(e) en ODF (SQODF)
 - Chirurgien-dentiste avec pratique exclusive de l'orthodontie
 - Chirurgien-dentiste omnipraticien
 - En formation (interne DESODF)
 - En formation (interne DESODMF)
 - Autre
- Année de début de pratique de l'orthodontie
- Département d'exercice

2. Équipements

L'objectif de cette seconde partie est d'étudier le **taux d'équipement** des cabinets d'orthodontie en matériel d'empreinte optique. Pour cela, la première question demande aux

praticiens s'ils possèdent, ou non, une caméra optique, un scanner d'empreintes ou un scanner de modèles sur leur lieu d'exercice principal. Cette question est un filtre : à partir de celle-ci, la suite du questionnaire est différente pour les praticiens équipés et les praticiens non équipés.

Pour les praticiens équipés, ils doivent préciser quel modèle ils possèdent. Il leur est également demandé s'ils possèdent une imprimante 3D (quelle technologie et pour quelle utilisation), et s'ils font imprimer leurs modèles par un laboratoire externe ou non.

Pour les praticiens non-équipés, il leur est demandé s'ils envisagent de s'équiper ; si oui quel matériel les intéresse (modèle de caméra, scanner de modèles ou d'empreintes) ; si non, pour quelles raisons.

3. Utilisation

Cette partie permet de définir, pour les praticiens équipés, la part d'empreintes réalisées numériquement. Elle permet également d'approfondir les différentes situations cliniques et types de traitements lors de lesquels les praticiens ont recours aux empreintes numériques :

- Analyse des modèles d'étude
- Appareils orthopédiques fixes
- Appareils orthopédiques amovibles
- Multi-attaches vestibulaire ; si oui, utilisation pour le collage indirect (et méthode de réalisation des gouttières de collage : *in house* ou par un laboratoire externe)
- Multi-attaches lingual
- Aligneurs ; si oui, méthode de réalisation des aligneurs (laboratoire externe ou *in house*)
- Gouttières chirurgicales de transfert
- Fil de contention
- Gouttières de contention

Ce groupe de questions n'est logiquement pas proposé aux praticiens non équipés.

4. Diagnostic

L'objectif de la première question de ce bloc d'évaluer la part des praticiens équipés en numérique utilisant les empreintes optiques pour la réalisation du diagnostic de leurs patients.

La suite permet de décrire les habitudes des orthodontistes lors de la réalisation de leurs diagnostics, indispensables à leurs prises de décisions. Pour les praticiens équipés et non équipés, une liste de paramètres cliniques évalués habituellement sur modèles d'étude et recensés lors de la lecture de l'article de Lejoyeux (28), leur est présentée. La liste est la suivante :

- Encombrement
- Courbe de Spee
- Dysharmonie dento-dentaire
- Surplomb
- Recouvrement
- Classe molaire
- Classe canine
- Défaut transversal molaire
- Défaut transversal canine

Pour chacun de ces paramètres, ils devront indiquer leurs habitudes lors de la réalisation de diagnostics en pratique courante :

- Paramètre non évalué
- Estimé visuellement
- Mesuré systématiquement
- Parfois mesuré, parfois estimé

Ils devront ensuite indiquer sur quel support ils réalisent les estimations de ces paramètres :

- Examen clinique
- Photographies intra-orales
- Modèle physique en plâtre
- Modèle numérique (si équipé en numérique)
- Modèle physique imprimé au cabinet (si équipé en numérique)
- Modèle physique imprimé par un laboratoire externe (si équipé en numérique) ;

Et sur quel support ils réalisent les mesures de ces paramètres :

- En bouche
- Modèle physique en plâtre
- Modèle numérique (si équipé en numérique) et par l'intermédiaire de que logiciel
- Modèle physique imprimé au cabinet (si équipé en numérique)
- Modèle physique imprimé par un laboratoire externe (si équipé en numérique).

Une question ouverte est proposée afin d'identifier, en pratique courante, les situations cliniques où le praticien estime nécessaire le passage par des modèles physiques pour la prise de décision thérapeutique.

5. Charge mentale

L'objectif est de quantifier et d'évaluer les difficultés que peuvent ressentir les praticiens lors de la transition vers l'utilisation de modèles numériques, et pour les non équipés, les craintes liées à cette manipulation virtuelle de modèles.

Quel que soit les équipements et l'expérience du praticien, les questions posées sont les suivantes :

- Dans quelle mesure, l'interaction avec le modèle physique (vue+manipulation), vous semble nécessaire à la réalisation du diagnostic ?
- Pensez-vous que l'appréciation des critères cliniques puisse être biaisée par les modèles virtuels ?

Les réponses proposées sont graduées de 1 (*pas du tout*) à 5 (*totalemment/indispensable*).

Ensuite, pour les non équipés, il leur est demandé s'ils estiment ou considèrent que la réalisation d'un diagnostic sur modèle virtuel est plus complexe, et pourquoi. Enfin, si le praticien possède une caméra optique, il est invité à donner son avis sur les trois affirmations suivantes (de « *oui totalement* » à « *non pas du tout* ») :

- La réalisation d'un diagnostic sur modèle virtuel est plus complexe.
- L'apprentissage pour remplacer les modèles physiques par les modèles virtuels est difficile.
- L'apprentissage doit passer par la comparaison du modèle virtuel et du modèle physique.

Le questionnaire se termine par un message de remerciement.

D. Logiciel, validation, enregistrement et diffusion du questionnaire

1. Logiciel : saisie du questionnaire

Le questionnaire a été saisi sur le logiciel *LimeSurvey*[®], mis à disposition par l'Université de Bordeaux. Après création d'un titre, d'une description, d'un message d'accueil et d'un message de fin, les indications suivantes ont été entrées dans le logiciel :

- Présentation groupe par groupe des questions
- Les réponses seront datées
- Les adresses IP seront enregistrées (de manière à éliminer les doublons)
- Utilisation des cookies pour le contrôle d'accès

- Les participants peuvent sauvegarder un questionnaire partiellement complété
- Les notifications détaillées avec les données de réponse sont envoyées par courriel au gestionnaire

2. Validation du questionnaire

Le questionnaire a été imaginé, écrit et rédigé par deux opérateurs. Il a ensuite été testé par 14 internes en DESODF du service d'orthopédie-dento-faciale du CHU de Bordeaux. Cela a permis de relever la formulation inadéquate de l'une des questions, qui a été modifiée. Enfin, cela a permis de tester la mise en place des filtres et le bon fonctionnement de l'ensemble des conditions saisies dans le logiciel.

Après validation, une version du questionnaire au format *.pdf* a été enregistrée, disponible en *annexe*.

3. Enregistrement auprès du délégué pour les données personnelles

Tel que demandé par l'université de Bordeaux et afin de garantir la protection des données personnelles des personnes participant à cette étude, le protocole et le questionnaire au format *.pdf* ont été transmis au délégué pour les données personnelles (DPO) de l'Université de Bordeaux pour enregistrement. Le questionnaire ne recueillant pas de données personnelles, la déclaration à la CNIL (informatique et libertés) n'était pas requise.

4. Mise en ligne et diffusion

Le questionnaire a été activé sur le logiciel *LimeSurvey*[®] le 27 août 2020. Le registre professionnel de la SFODF (société savante regroupant plus de 2000 membres français et étrangers), disponible en ligne, a été utilisé pour envoyer le questionnaire à un grand nombre de praticien répondant aux critères d'inclusion. Les praticiens n'exerçant pas en France ont été exclus du mailing. Un premier envoi de 1567 emails a été réalisé le 5 septembre 2020. Estimant le nombre de réponses insuffisant suite à l'envoi par mail, le questionnaire a été publié le 22 novembre 2020 sur des groupes professionnels sur le réseau social Facebook[®].

E. Analyse des données recueillies

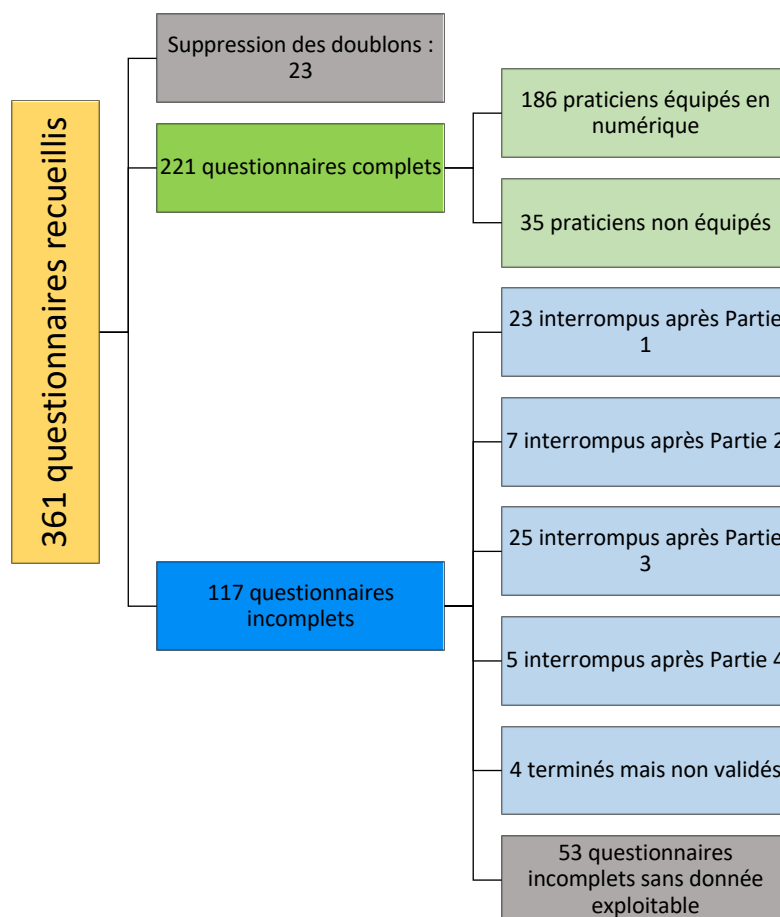
Le questionnaire a été clôturé le 26 novembre 2020. Les données ont été recueillies sous forme d'un tableur Excel[®] permettant leur analyse statistique. Elles sont hébergées sur le serveur sécurisé de l'université de Bordeaux et ont été manipulées à l'aveugle.

III. Résultats

Le questionnaire étant en grande partie différent pour les praticiens équipés en numérique et pour les praticiens non équipés en numérique, il a été décidé d'analyser les données démographiques de l'échantillon complet. Ensuite, deux sous-échantillons ont été définis : les praticiens non-équipés et les praticiens équipés. Pour chacun de ces deux sous-groupes, toutes les réponses ont été ré-analysées afin d'obtenir des statistiques démographiques, concernant l'équipement, l'utilisation, le diagnostic. Enfin, la charge mentale pour les deux sous-échantillons a été étudiée dans la dernière partie.

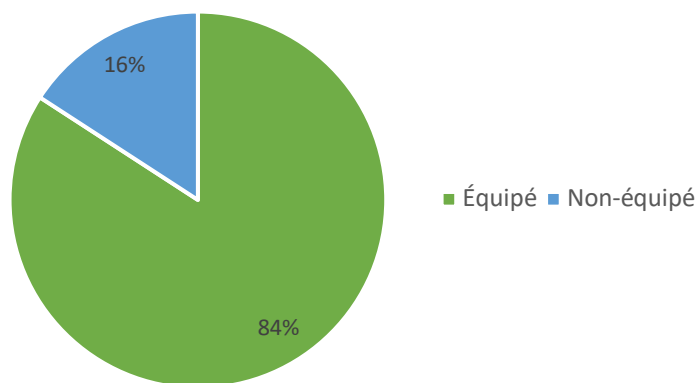
A. Nombre de questionnaires recueillis et équipement des praticiens

361 questionnaires ont été recueillis. Après suppression de 23 doublons, et élimination des 117 questionnaires incomplets, 221 questionnaires ont été inclus dans l'étude pour l'exploitation des résultats.



Graphique 1 : Diagramme de flux

Parmi les 221 questionnaires complets, 186 (84%) participants ont déclaré être équipés en matériel d'empreintes numériques (caméra optique, scanner de modèles ou scanner d'empreintes) sur leur lieu d'exercice principal, contre 35 (16%) non-équipés.

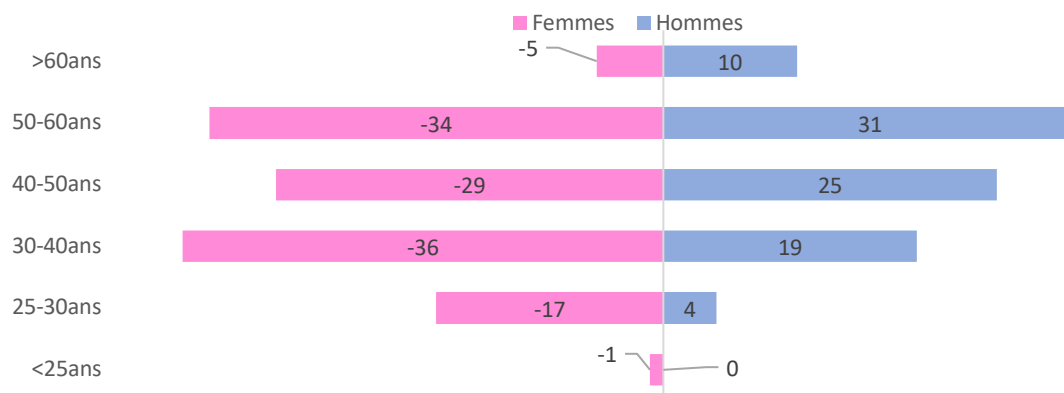


Graphique 2 : Équipement des praticiens

B. Description de la population (n=221) et données démographiques

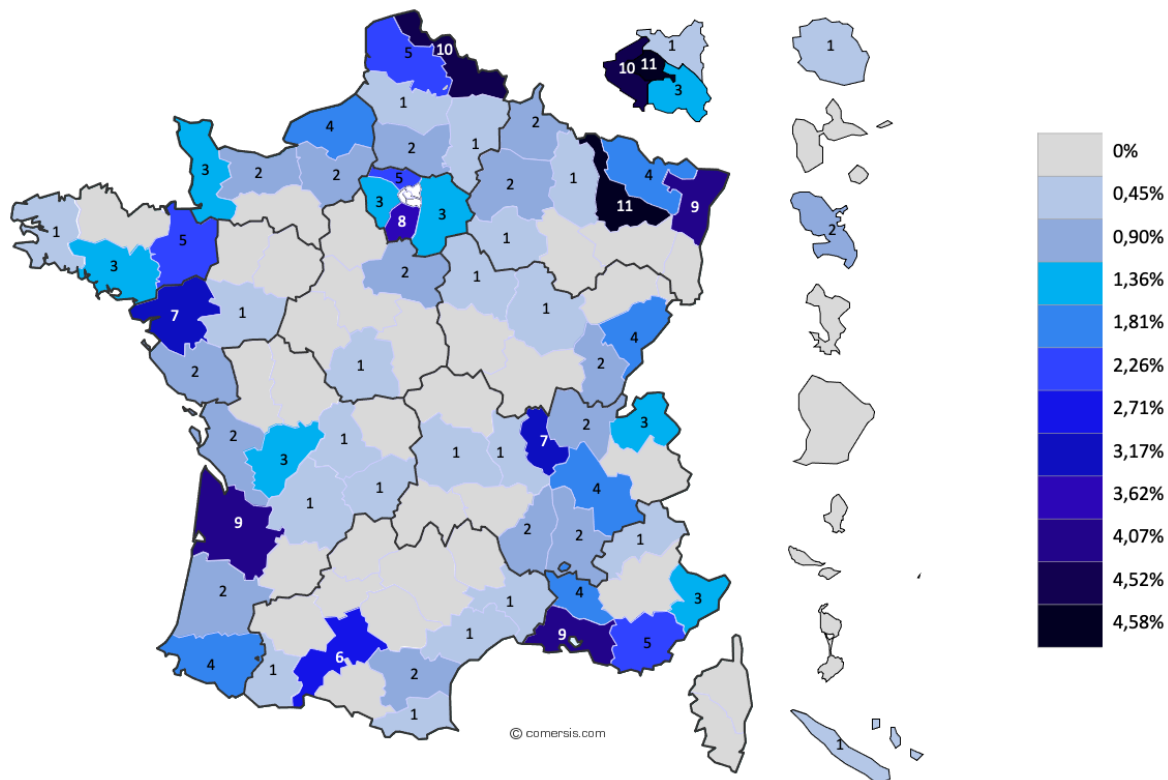
La population de répondants comprend 55% de femmes (n=122) et 41% d'hommes (n=90). 4% ne se sont pas prononcés (n=9).

La répartition par tranche d'âge révèle moins de 1% de moins de 25ans (n=1), 10% (n=22) de 25-30ans, 25% (n=55) de 30-40ans, 25% (n=55) de 40-50ans, 31% (n=69) de 50-60ans, et 8% (n=17) de plus de 60ans. 2 personnes n'ont pas répondu à cette question.



Graphique 3 : Pyramide des âges (n=221)

Enfin, le questionnaire a été complété par des praticiens de la France entière. La carte suivante indique les départements d'exercice des praticiens ayant répondu à l'enquête. La représentativité de chaque département parmi la population de l'étude est exprimée en pourcentage.



Graphique 4 : Lieu d'exercice des 221 participants à l'enquête et représentativité de chaque département

Les praticiens ayant participé à cette étude sont en grande majorité ($n=172$, 77%) des chirurgiens-dentistes spécialistes qualifiés en orthopédie dento-faciale. Il est retrouvé également 16% ($n=36$) de chirurgiens-dentistes non spécialistes avec pratique exclusive de l'orthodontie, 3% ($n=5$) chirurgiens-dentistes omnipraticiens pratiquant l'orthodontie de manière non-exclusive, 2% ($n=4$) d'internes en DESODF, et 3 « autres » dont un chirurgien oral, un stomatologue qualifié ODF, et un chirurgien maxillo-facial pratiquant l'orthodontie.

Enfin, ils pratiquent l'orthodontie en moyenne depuis l'année 2003, avec un écart type de 10,75, soit 18 ans d'expérience. Le plus expérimenté exerce depuis 1974, et le moins expérimenté depuis 2019.

Ces données ont été détaillées dans le tableau suivant précisant les données pour l'ensemble des praticiens ayant répondu à l'enquête, ainsi que pour deux échantillons : les praticiens équipés et non-équipés en matériel d'empreintes numériques (*Tableau 1 : Tableau descriptif de la population*).

Variables		Questionnaires récoltés		Praticiens équipés		Praticiens non-équipés	
		221	100%	186	84%	35	16%
		n	%	n	%	n	%
Genre	Femmes	122	55,20	103	55,38	19	54,29
	Hommes	90	40,72	75	40,32	15	42,86
	NA	9	4,07	8	4,30	1	2,86
Tranche d'âge	<25ans	1	0,45	1	0,54	0	0
	25-30ans	22	9,95	19	10,22	3	8,57
	30-40ans	55	24,89	43	23,12	12	34,29
	40-50ans	55	24,89	51	27,42	4	11,43
	50-60ans	69	31,22	58	31,18	11	31,43
	>60ans	17	7,69	12	6,45	5	14,29
	NA	2	0,90	2	1,08	0	0
Qualification et pratique	Chirurgien-dentiste spécialiste qualifié(e) en ODF	172	77,83	147	79,03	25	71,43
	Chirurgien-dentiste avec pratique exclusive de l'orthodontie	36	16,29	30	16,13	6	17,14
	Chirurgien-dentiste omnipraticien	6	2,71	3	1,61	3	8,57
	En formation (interne DESODF)	4	1,81	4	2,15	0	0
	Autre	3	1,36	3	1,61	1	2,86
Année de début d'exercice	Moyenne +/- écart-type	2003,36 +/- 10,75		2003,50 +/- 10,60		2002,60 +/- 11,71	
	Médiane	2005		2005		2004	

Tableau 1 : Tableau descriptif de la population

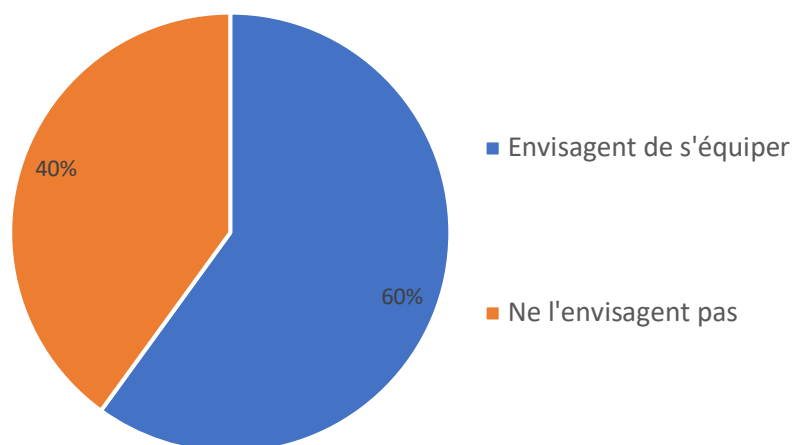
C. Statistiques descriptives de l'usage des modèles dans l'échantillon de praticiens non-équipés en matériel numérique ($n=35$)

L'échantillon de praticiens non équipés en matériel d'empreintes numériques, bien qu'assez faible ($n=35$), semble représentatif de la population ayant répondu au questionnaire (*tableau 1*) :

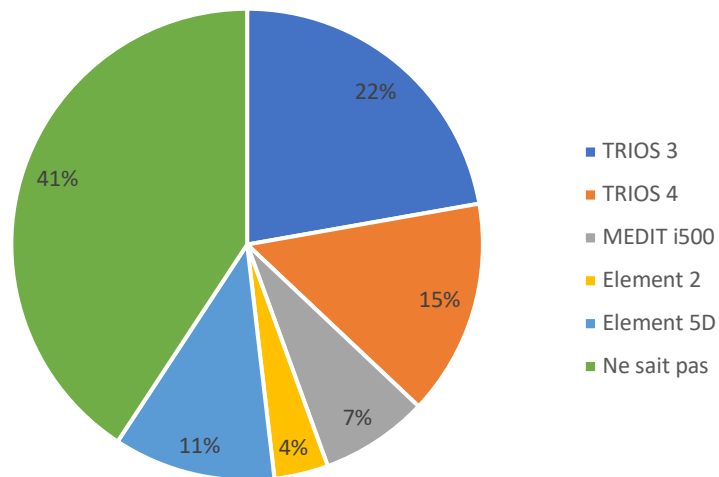
- La répartition hommes/femmes y est similaire ;
- La répartition par tranches d'âge l'est également (excepté concernant la tranche d'âge 40-50ans) ;
- La répartition par département d'exercice est difficilement comparable compte tenu du faible nombre de réponses ;
- Les praticiens non-équipés sont, comme dans l'échantillon global, en grande majorité des chirurgiens-dentistes spécialistes qualifiés en orthopédie dento-faciale ;
- L'année moyenne de début d'exercice est de 2002,60 (écart-type 11,7), soit similaire à l'échantillon général.

1. Projets d'équipement

Pour les praticiens non équipés, 60% ($n=21$) envisagent d'acquérir une caméra optique, un scanner d'empreintes ou un scanner de modèles. Ils sont en majorité intéressés par les caméras de la marque 3Shape® : Trios3 (22%, $n=6$) et Trios4 (15%, $n=4$) ; et AlignTechnology®/ITero® : Element 2 et Element 5D (15%, $n=4$). 7% ($n=2$) sont intéressés par la iMedit 500 de Medit®, et 41% ($n=11$) ne savent pas.



Graphique 5 : Intensions d'acquisition de matériel d'empreintes numériques



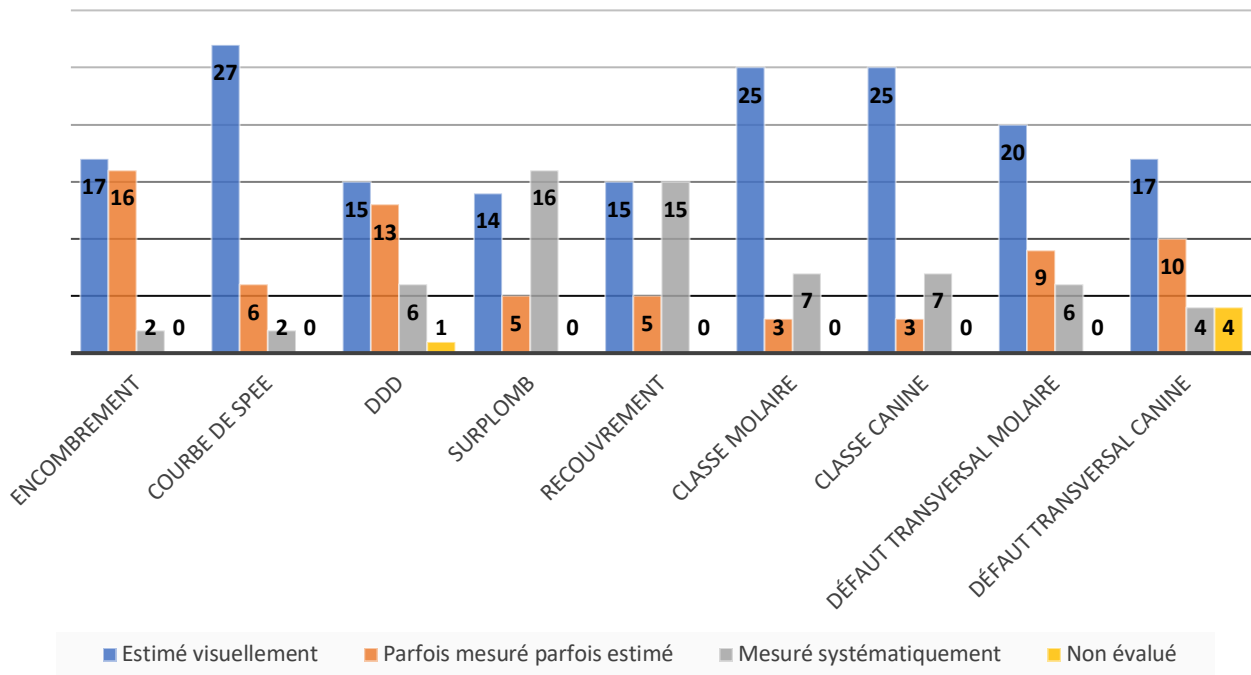
Graphique 6 : Modèle de caméra souhaité pour une acquisition future

Enfin, 40% de ces praticiens ($n=14$) n'envisagent pas de s'équiper pour les motifs suivants :

- Investissement financier trop important
- Retraite ou fin de carrière proche
- Non convaincu de l'intérêt des empreintes numériques
- Non convaincu par les systèmes testés
- Souhait de « garder contact » avec les modèles réels
- Peur de la courbe d'apprentissage
- Absence/manque de formation
- Praticien épiléptique « craignant les flash lumineux »

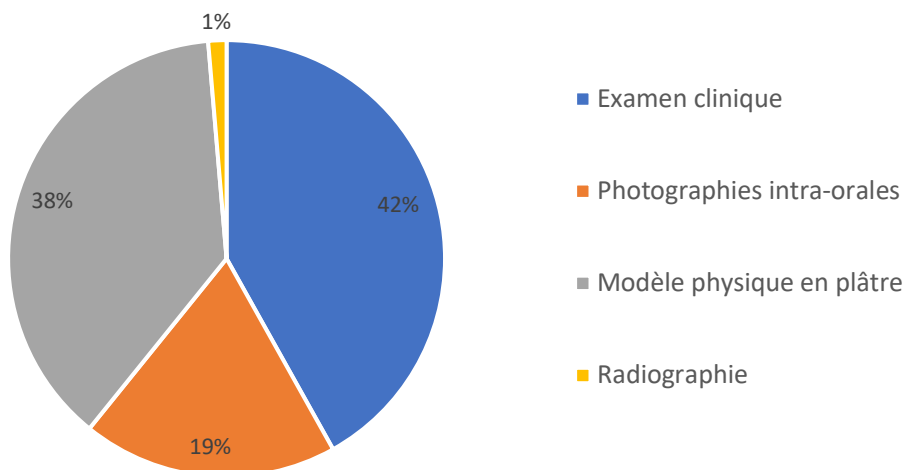
2. Diagnostic et utilisation

En matière de diagnostic, de légères différences avec la population générale de praticiens interrogés sont constatées. Les variables surplomb et recouvrement sont mesurées systématiquement chez près de la moitié des praticiens, à part égale avec ceux qui l'estiment systématiquement.

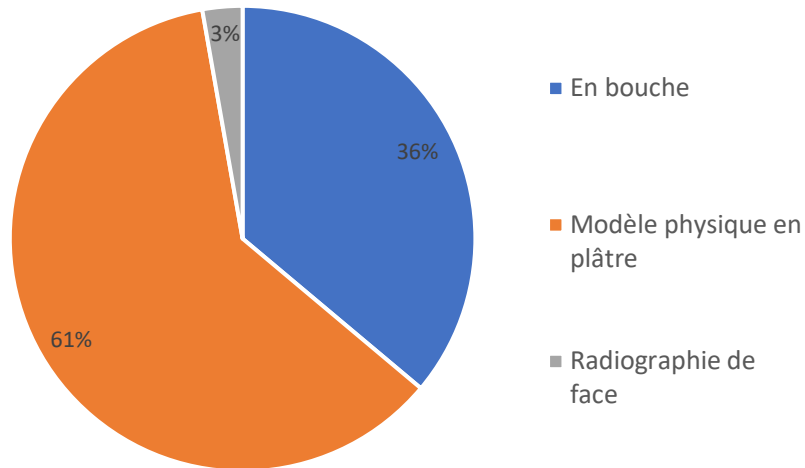


Graphique 7 : Méthode d'évaluation des paramètres diagnostiques - praticiens non-équipés

Les praticiens non-équipés réalisent leurs estimations lors de l'examen clinique (42%), sur modèle physique en plâtre (38%) et sur photographies intra-orales (19%). 1% d'entre eux utilisent les examens radiographiques. Quant aux mesures, ils les réalisent à 61% sur modèle physique en plâtre ou directement en bouche (36%). 3% d'entre eux réalisent des mesures sur radiographie de face.

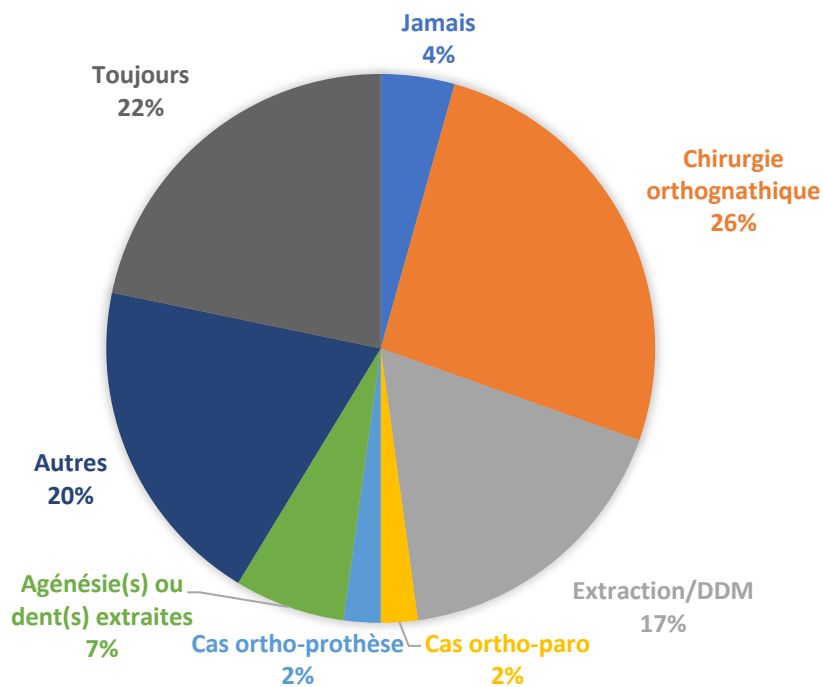


Graphique 8 : Support de réalisation des estimations - praticiens non-équipés



Graphique 9 : Support de réalisation des mesures - praticiens non-équipés

La répartition des situations cliniques quotidiennes au cours desquelles les praticiens ont la nécessité d'avoir recours à un modèle physique semble équilibrée entre différentes situations, mais une majorité de réponses concernent les cas de préparation orthodontico-chirurgicale (26%). Il est retrouvé, avec une fréquence de 22%, la réponse « *toujours* », indiquant que presque un quart des praticiens non équipés en numérique réalisent systématiquement des modèles en plâtre, quelle que soit la situation clinique.



Graphique 10 : Situations cliniques de recours à un modèle physique - praticiens non-équipés

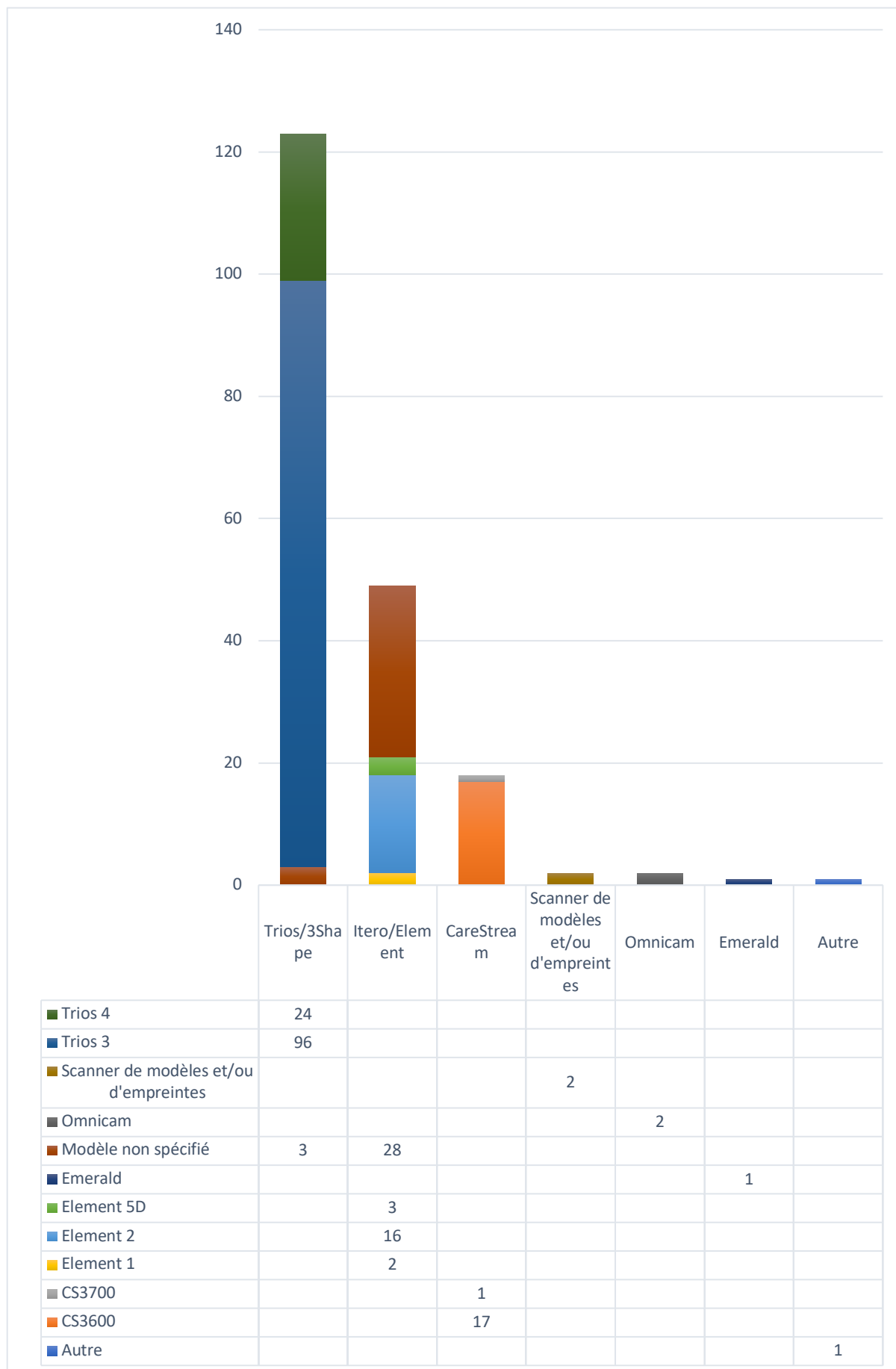
D. Statistiques descriptives de l'usage des modèles dans l'échantillon de praticiens équipés en matériel numérique ($n=186$)

L'échantillon de praticiens équipés en matériel d'empreintes numériques, semble également représentatif de la population de praticiens ayant répondu au questionnaire (*tableau 1*) :

- La répartition hommes/femmes y est similaire ;
- La répartition par tranches d'âge l'est également (toutes les tranches d'âge sont représentées dans cet échantillon, avec une part plus importante de la tranche 40-50ans) ;
- La répartition sur le territoire français est comparable à celle de l'ensemble des praticiens répondants ;
- Les praticiens équipés sont, comme dans l'échantillon global, en grande majorité des chirurgiens-dentistes spécialistes qualifiés en orthopédie dento-faciale ;
- L'année moyenne de début d'exercice est de 2003,5 (écart-type 10,6), soit similaire à l'échantillon général.

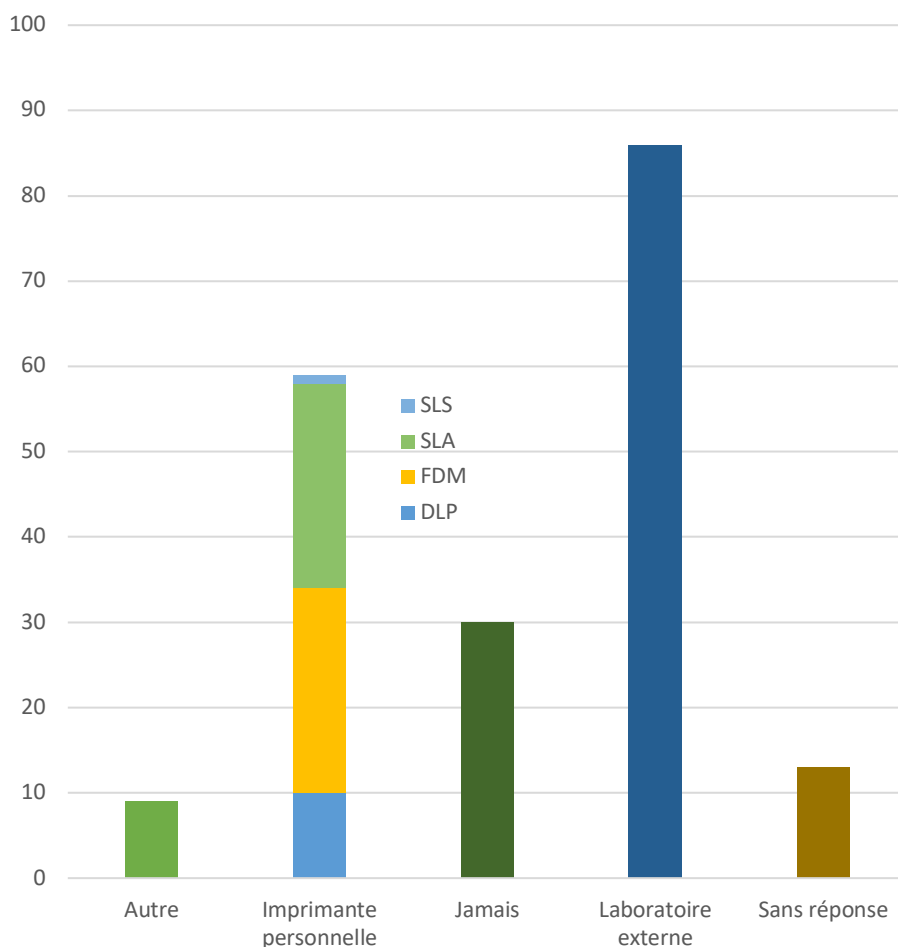
1. Équipements

Les praticiens équipés possèdent en grande majorité des caméras de la marque *3Shape* (63%), suivis par des caméras *Itero*[®] (25%) et *Carestream* (9%). Le graphique et le tableau suivants précisent la part de chaque modèle et marque de caméra présents chez les praticiens interrogés.



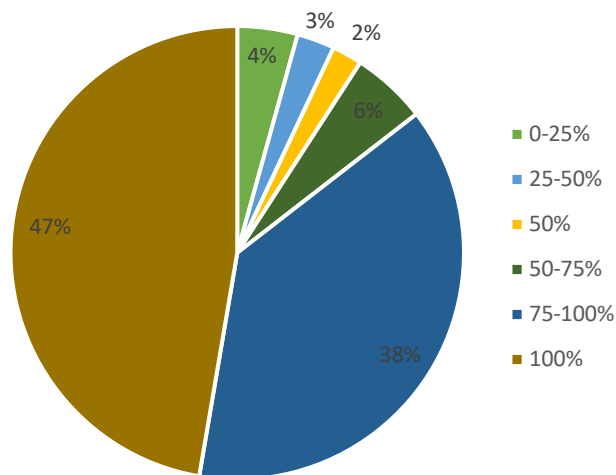
Graphique 11 : Répartition par marque et modèle de caméra utilisés par les orthodontistes français

32% des praticiens ($n=60$) ont déclaré posséder au moins une imprimante 3D, avec parmi elles : 24 imprimantes de technologie FDM, 24 de technologie SLA (pour l'impression de modèles), 10 DLP (pour de la CFAO en orthodontie linguale et l'impression de modèles), 1 SLS (pour impression de modèles pour gouttières de contention) et 9 autres de technologie non précisée. Environ 45% (83 praticiens) font imprimer leurs modèles exclusivement par un laboratoire externe, 16% ($n=30$) n'impriment ou ne font jamais imprimer de modèles, et 13 personnes n'ont pas répondu à la question (7%).



Graphique 12 : Méthode d'impression des modèles en pratique quotidienne

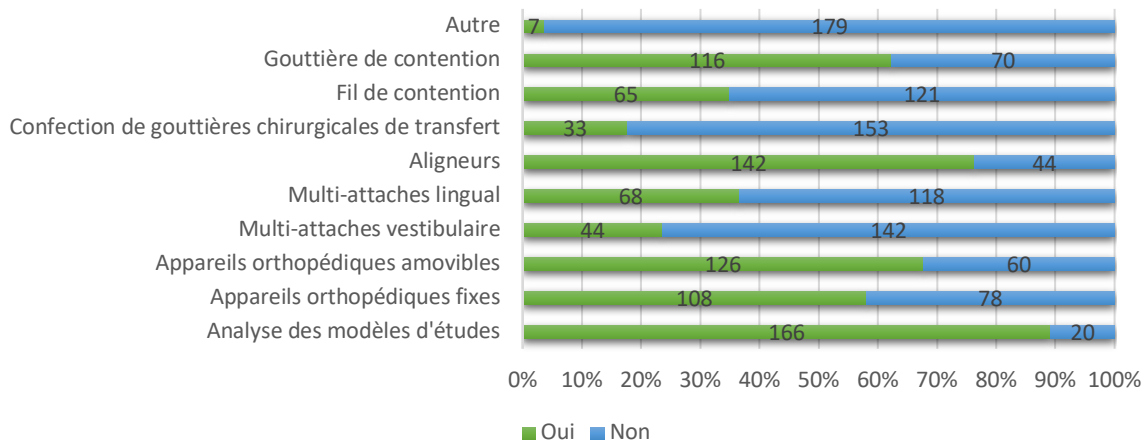
47% des praticiens équipés ($n=88$) réalisent exclusivement des empreintes en numérique, et 38% d'entre eux ($n=71$) en réalisent entre 75% et 100%. Nous constatons donc qu'une fois équipés, les praticiens semblent délaisser quasi totalement les empreintes physiques. Seuls 7% réalisent moins de 50% de leurs empreintes en numérique.



Graphique 13 : Part d'empreintes quotidiennes réalisées en numérique

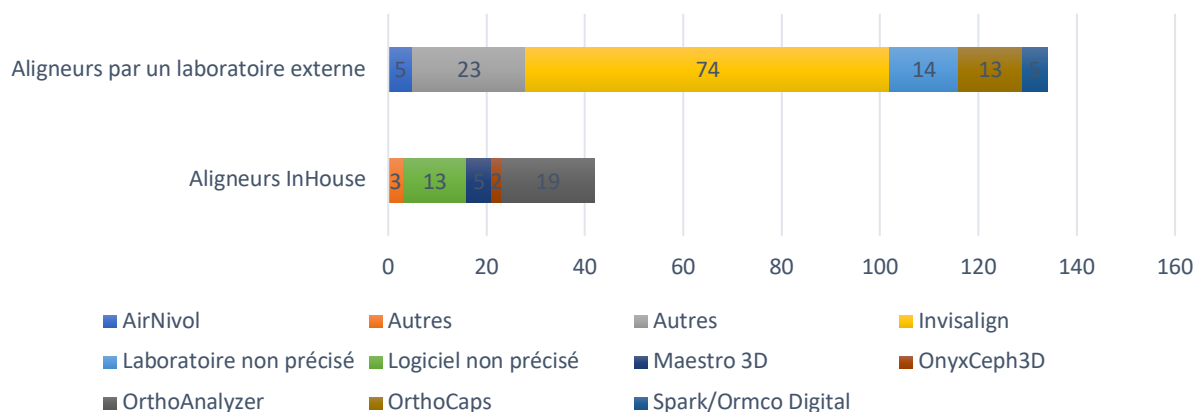
Les empreintes numériques sont en majorité utilisées pour :

- Analyse des modèles d'étude (89%)
- Aligneurs (76%)
- Appareils orthopédiques amovibles (68%)
- Gouttières de contention (62%)
- Appareils orthopédiques fixes (58%)



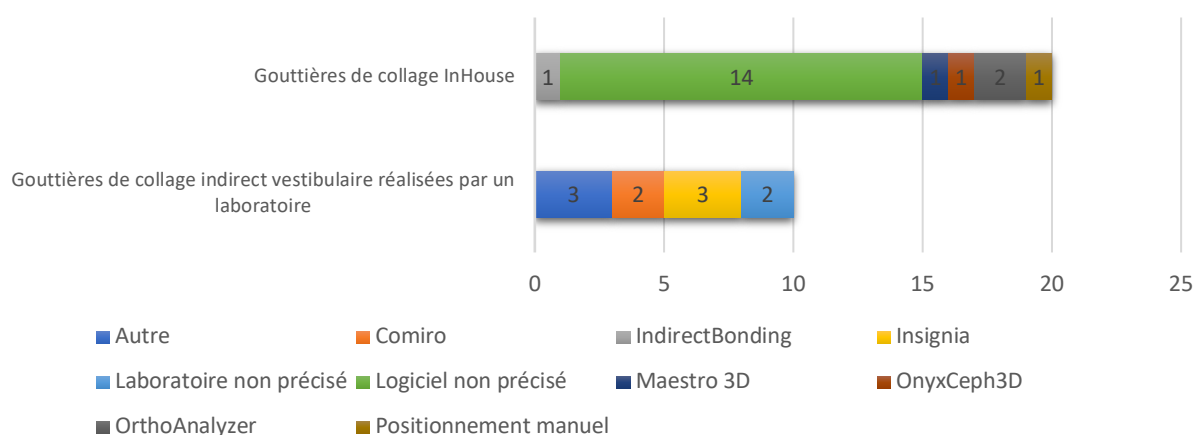
Graphique 14 : Utilisation des empreintes numériques par moyen thérapeutique

Parmi les 142 praticiens utilisant les empreintes numériques pour la confection d'aligneurs, 42 réalisent leur aligneurs in-house, tandis que 134 passent par un laboratoire externe. Cela signifie également que 34 praticiens font les deux. Les laboratoires externes avec lesquels ils travaillent sont multiples, et les praticiens travaillent fréquemment avec plusieurs laboratoires différents. Le principal reste Invisalign® (55%). Quant aux logiciels utilisés pour la réalisation d'aligneurs *in-house*, le plus utilisé est Orthoanalyzer® (45%).



Graphique 15 : Méthode de réalisation d'aligneurs et laboratoire externe ou logiciel utilisé

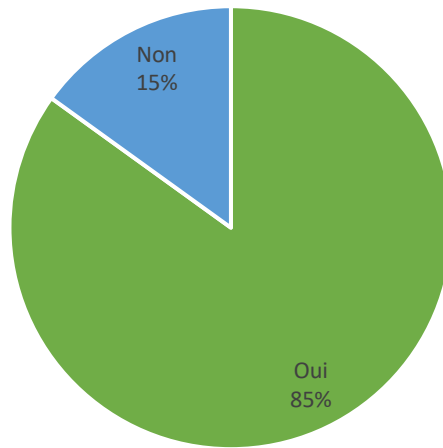
15% des praticiens ($n=28$) utilisent les empreintes numériques pour le collage indirect en multi-attaches vestibulaire, 20 réalisent des gouttières de collage *in-house*, et 10 font réaliser les gouttières de collage par des laboratoires externes (Insignia™ et Comiro® principalement). 2 praticiens confectionnent à la fois eux même leurs gouttières et via un laboratoire externe.



Graphique 16 : Méthode de réalisation de gouttières de collage indirect vestibulaire et laboratoire ou logiciel utilisé

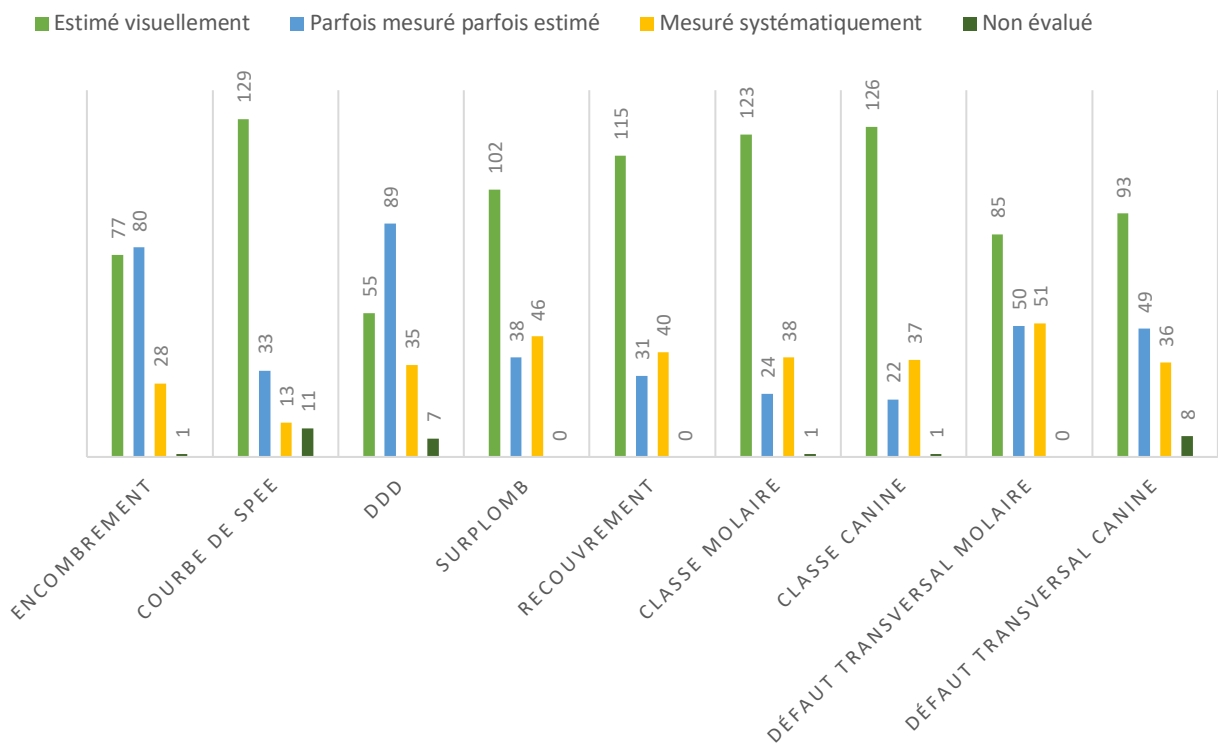
2. Diagnostic et utilisation

Un des objectifs de ce travail est de définir le pourcentage de praticiens français exerçant l'orthodontie qui utilisent les modèles numériques pour l'établissement de leurs plans de traitement. Donc au sein de l'échantillon de praticien possédant du matériel d'empreintes numériques dans leur cabinet (84%), 85% l'utilisent pour la réalisation de l'intégralité de leurs diagnostics et plans de traitement, soit 71,5% de la population totale de praticiens interrogés.



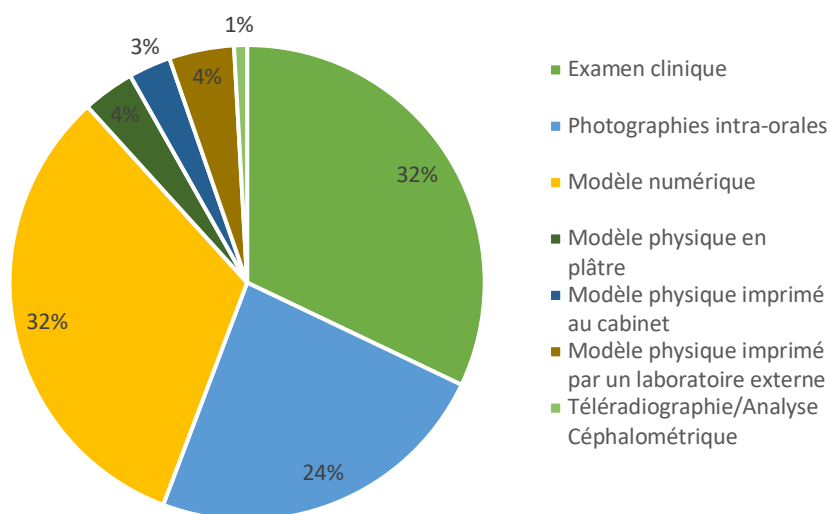
Graphique 17 : Part des praticiens utilisant les empreintes numériques pour la réalisation de l'intégralité de leurs diagnostics et plans de traitement

Les **paramètres** utilisés en pratique quotidienne pour la réalisation de diagnostics sont, comme vu lors de l'analyse des résultats de l'échantillon global, majoritairement uniquement estimés visuellement. Seuls l'encombrement et la DDD sont plus fréquemment « *parfois estimé, parfois mesuré* », même si l'estimation seule est réalisée chez plus d'un tiers des praticiens pour l'encombrement, et un quart des praticiens pour la DDD.



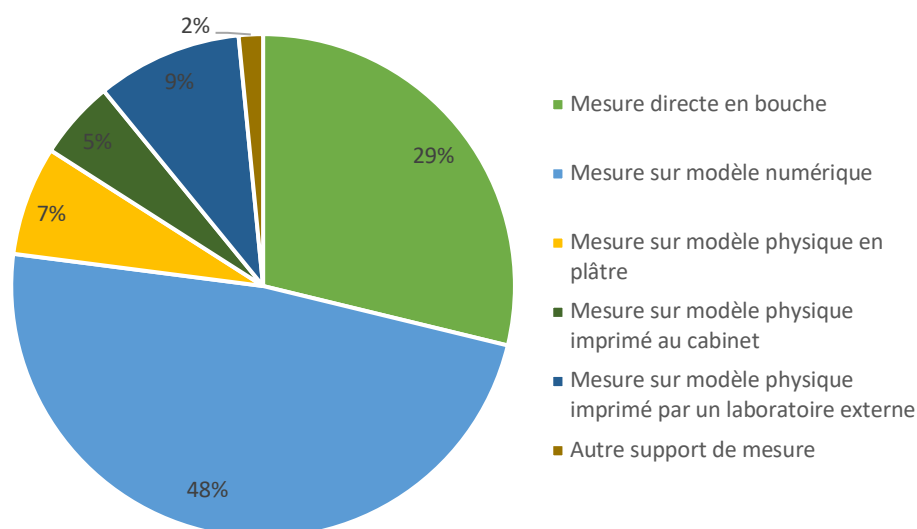
Graphique 18 : Méthode d'évaluation des paramètres diagnostiques - praticiens équipés

Lors de la réalisation de leurs diagnostics et l'établissement des plans de traitement, les praticiens ayant déclaré réaliser de simples estimations de mesures le font principalement au cours de l'examen clinique (32%), sur modèle numérique (32%), et sur photographies intra-orales (24%). Ils ne sont que 11% à réaliser ces estimations à visée diagnostique sur modèles physiques.



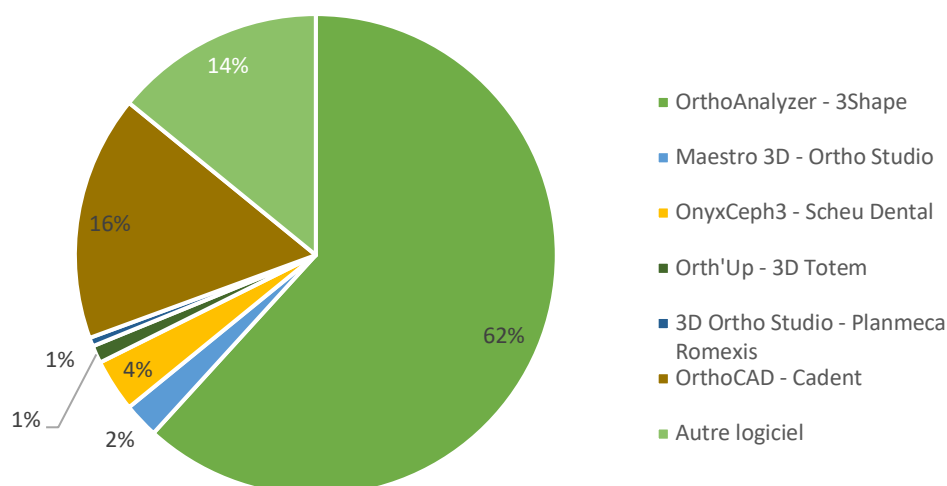
Graphique 19 : Support de réalisation des estimations - praticiens équipés

Lorsque des mesures sont réalisées par ces praticiens, ceux-ci les réalisent majoritairement sur modèles numériques (48%). Elles sont également à 29% réalisées directement en bouche. Enfin, 21% mesurent sur modèles physiques, que ce soient des modèles en plâtre (7%), des modèles imprimés au cabinet (5%) ou par un laboratoire externe (9%).



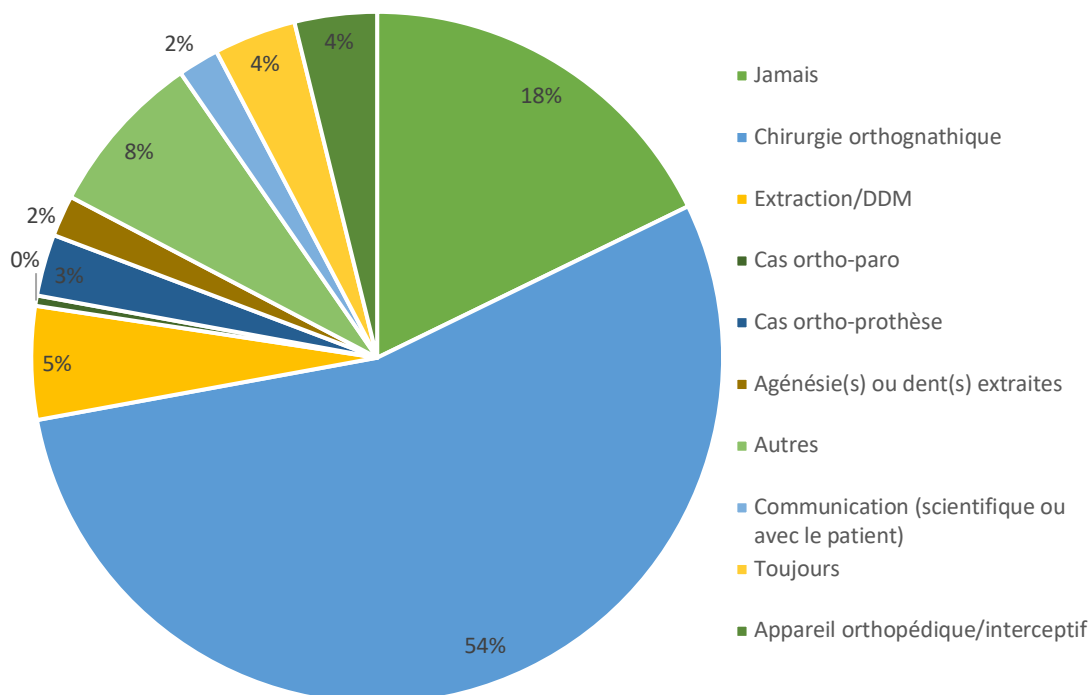
Graphique 20 : Support de réalisation des mesures - praticiens équipés

Les logiciels utilisés sont nombreux mais le plus retrouvé est OrthoAnalyzer® de 3Shape, suivi par OrthoCAD® de Cadent.



Graphique 21 : Logiciels utilisés pour la réalisation de mesures

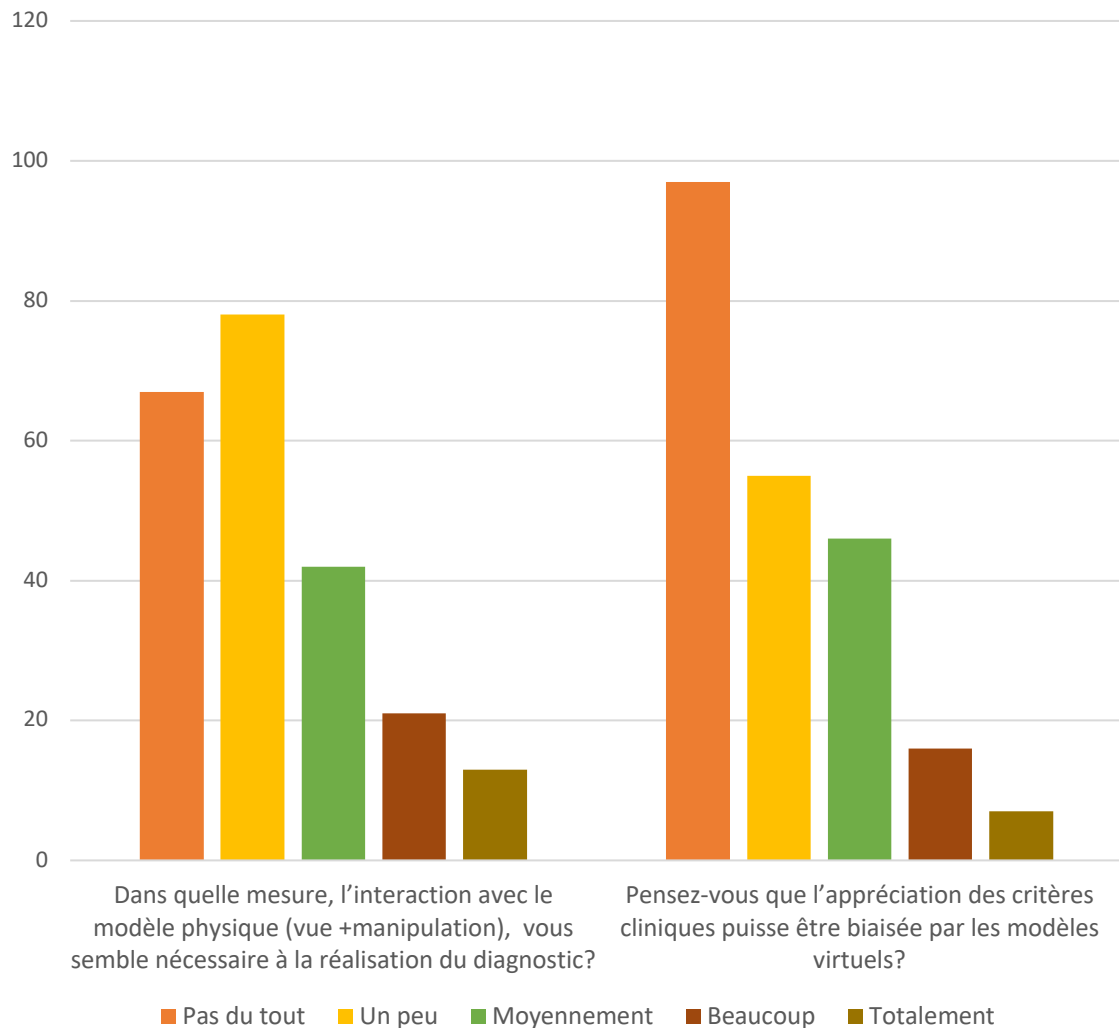
Les situations cliniques aux cours desquelles les praticiens ressentent le besoin d'interagir avec un modèle physique sont comparables à celles citées initialement lors de la description de l'échantillon de praticiens non-équipés. La situation de préparation orthodontico-chirurgicale est retrouvée dans 54% des réponses. 18% déclarent ne jamais ressentir le besoin d'avoir recours à des modèles physiques.



Graphique 22 : Situations cliniques de recours à un modèle physique - praticiens équipés

E. Charge mentale

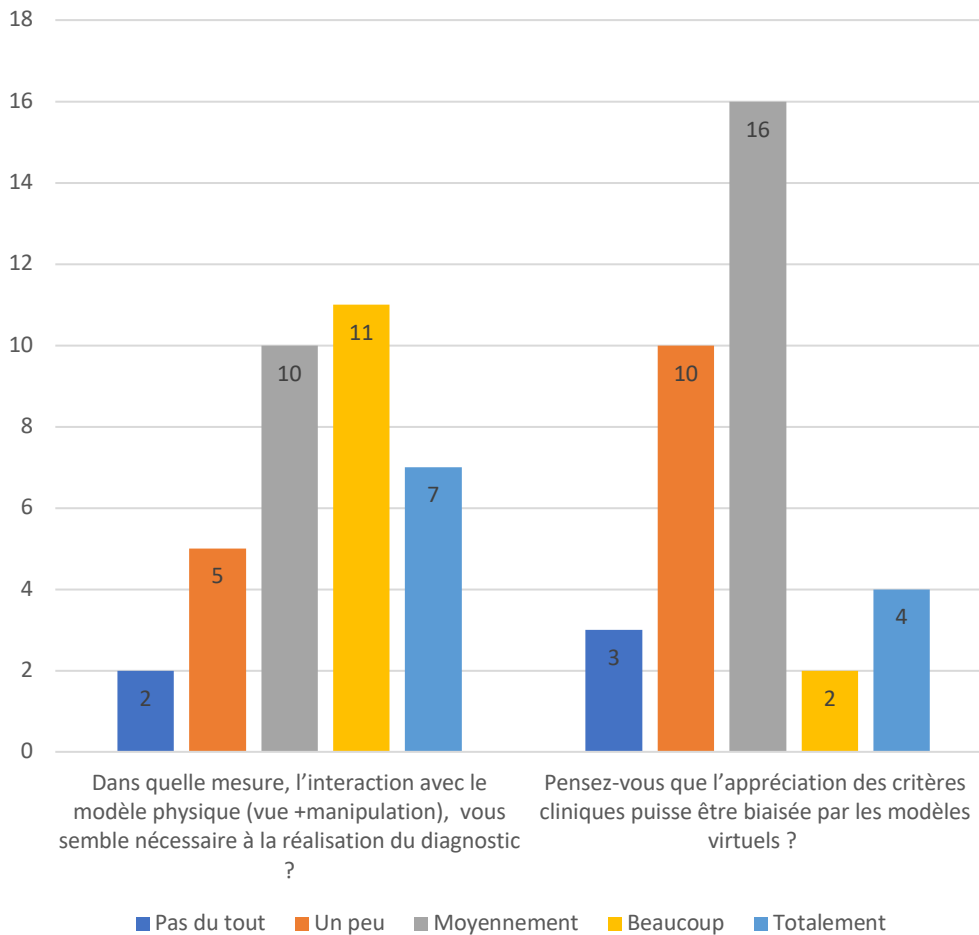
Les praticiens interrogés ne déclarent pas ressentir le besoin d'interagir manuellement et visuellement avec le modèle physique pour réaliser leurs diagnostics. De même, ils ne sentent pas du tout leur appréciation clinique biaisée par l'utilisation de modèles virtuels.



Graphique 23 : Charge mentale de la réalisation de diagnostics et appréciation des critères cliniques sur modèles virtuels

1. Praticiens non-équipés

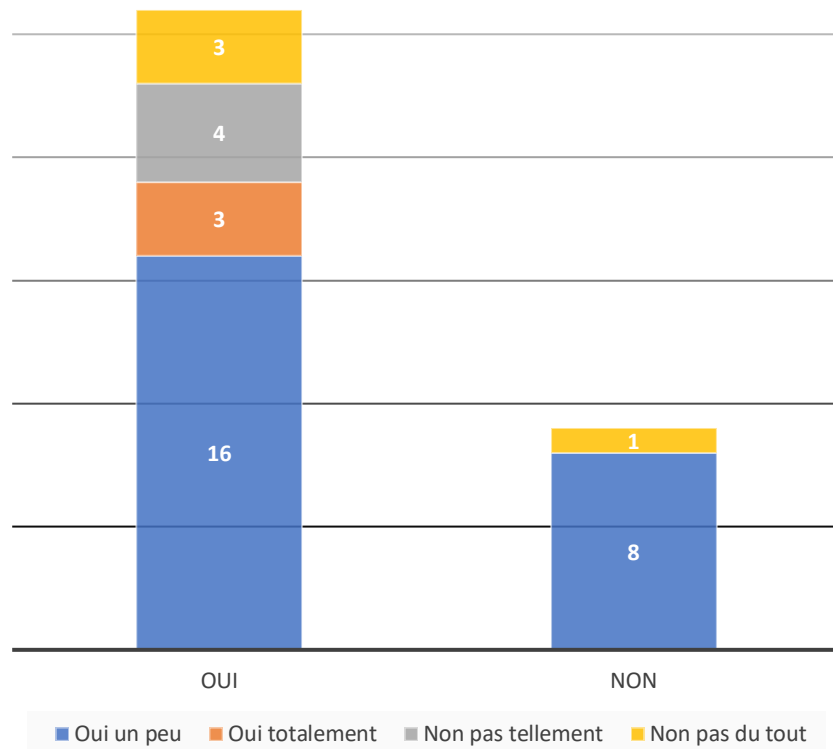
A travers les réponses à ces deux questions, il apparaît que les praticiens non-équipés en numérique ressentent un besoin plus important d'interaction avec le modèle physique (vue+manipulation) ce qui révèle une certaine appréhension liée à l'utilisation de modèles virtuels, par perte du sens haptique. Cependant, ils ne sont pas forcément convaincus que leur appréciation clinique puisse être biaisée par les modèles virtuels.



Graphique 24 : Charge mentale de la réalisation de diagnostics et appréciation des critères cliniques sur modèles virtuels - praticiens non-équipés

Parmi les praticiens non équipés, près des trois-quarts (74%) ont déjà utilisé un logiciel de manipulation de modèles, et la plupart d'entre eux (73%) considèrent que la réalisation d'un diagnostic sur modèle virtuel est plus complexe. Cette part de praticiens est encore plus importante chez ceux n'ayant jamais utilisé de logiciel de manipulation de modèles virtuels : 89% d'entre eux imaginent que la réalisation d'un diagnostic sur modèle virtuel est plus complexe.

Avez-vous déjà utilisé un logiciel de manipulation de modèles virtuels ? et imaginez-vous ou considérez-vous la réalisation d'un diagnostic sur modèle virtuel plus complexe ?



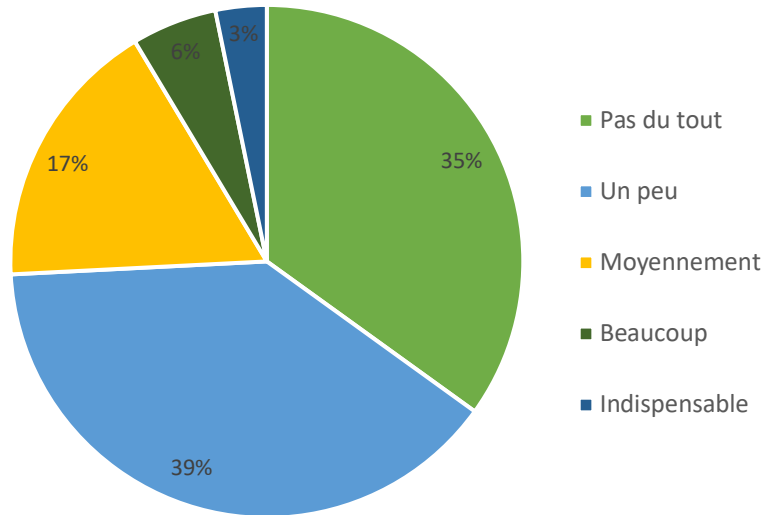
Graphique 25 : Expérience de manipulation de modèles virtuels et complexité du diagnostic - praticiens non-équipés

Les motifs exprimés sont :

- Difficultés liées à la prise de conscience et à la matérialisation des verrous, interférences et contacts occlusaux, et le besoin de matérialiser ces contacts physiquement ;
- Difficultés de visualisation de 3D ;
- Difficultés et lenteur de manipulation ;
- Reproduction à l'échelle 1 :1 ;
- Difficulté d'établissement des rapports sagittaux ;
- Peur d'une erreur de manipulation lors de la prise d'empreintes et des rapports occlusaux, surtout si cela n'est pas réalisé le praticien lui-même ;
- Moins bonne visualisation de certains détails occlusaux ;
- Besoin du toucher ;
- Peur de la courbe d'apprentissage (longue si pas de compétences informatiques) ;

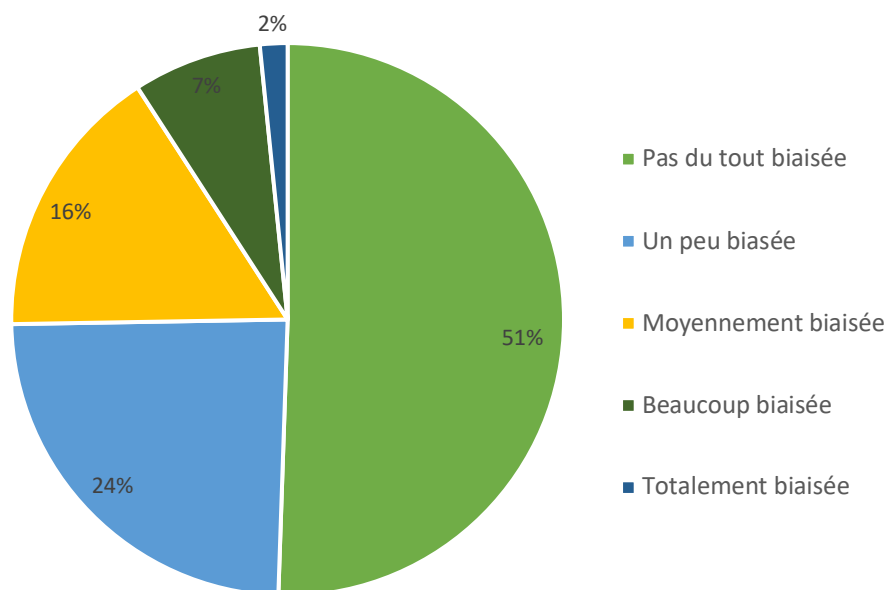
2. Praticiens équipés

Il est constaté que les praticiens utilisant le numérique ne ressentent qu'un peu le besoin (39%) ou pas du tout le besoin (pour 35%) d'interagir manuellement et visuellement avec le modèle physique pour la réalisation de diagnostics. Seul 3% d'entre eux considèrent cela comme indispensable.



Graphique 26 : Besoin d'interaction avec un modèle physique pour la réalisation de diagnostics

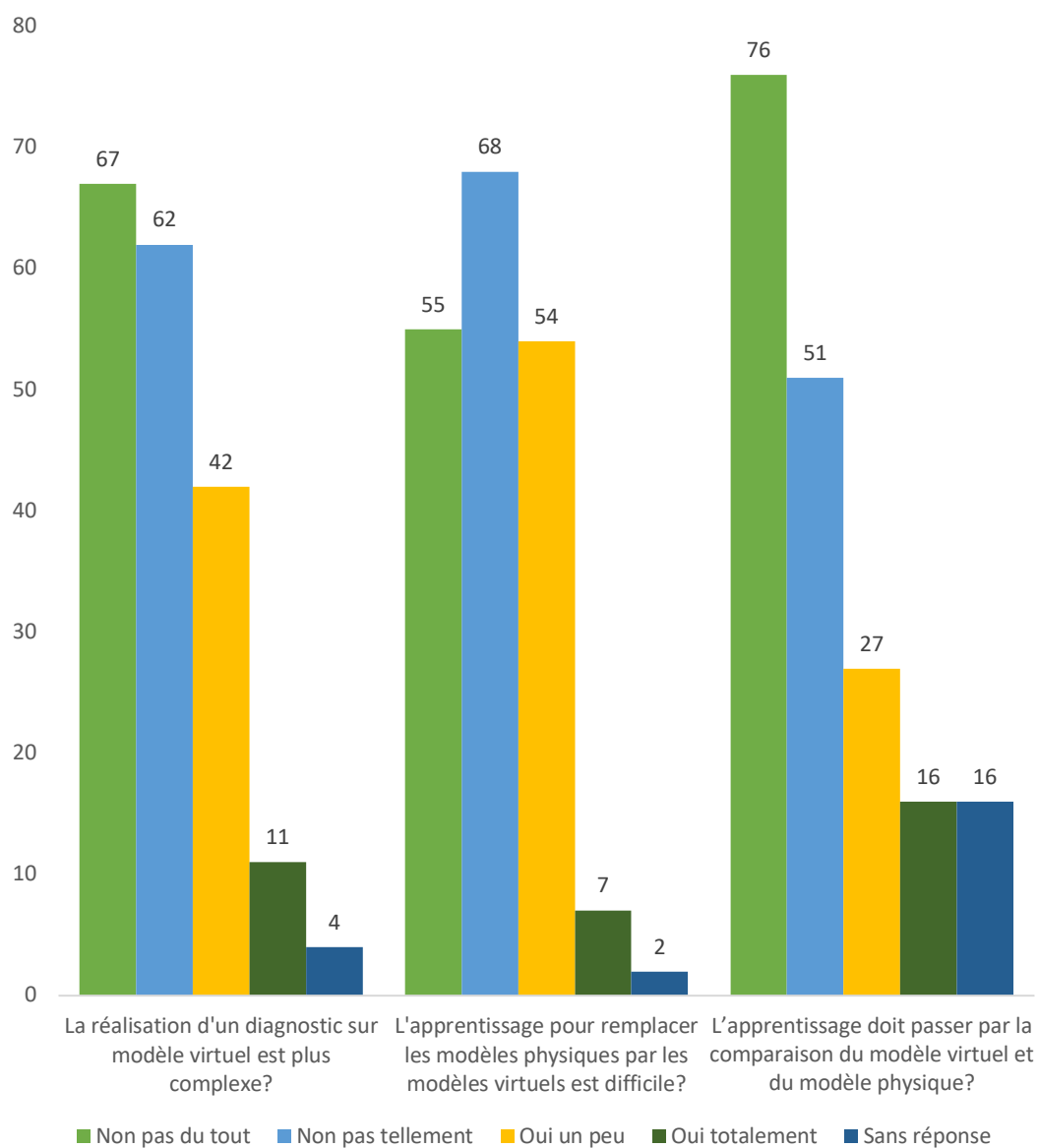
De plus, la majorité (51%) considèrent que leur appréciation clinique n'est pas du tout biaisée par l'utilisation de modèles virtuels. 2% considèrent leur appréciation clinique comme totalement biaisée par l'utilisation de modèles numériques.



Graphique 27 : Appréciation clinique biaisée lors de l'utilisation de modèles virtuels

Pour finir, le graphique suivant montre le ressenti des praticiens équipés en numérique à propos de la complexité de réalisation de diagnostics sur modèle virtuel et sur l'apprentissage par lequel ils ont dû passer.

La réalisation d'un diagnostic sur modèle virtuel n'est pas du tout (36%) ou pas tellement (33%) plus complexe que sur modèle réel. L'apprentissage n'est pas tellement (37%), ni pas du tout (30%) difficile, même si 29% ont trouvé cela un peu difficile. Enfin, l'apprentissage ne doit pas du tout passer pour 41% par la comparaison du modèle virtuel et du modèle physique.



Graphique 28 : Ressenti des praticiens équipés sur la réalisation de diagnostics et l'apprentissage de l'utilisation des modèles virtuels

IV. Discussion

Plusieurs points peuvent être à discuter dans cette étude. La méthodologie sera commentée en premier lieu, puis la discussion des résultats associée à une analyse de ceux issus des questionnaires incomplets sera réalisée. Enfin, une ouverture vers la performance des praticiens lors de la réalisation de diagnostics sur modèles virtuels, sujet d'un futur mémoire de fin de DESODF, sera proposée.

A. Méthodologie de l'étude

1. Critères d'inclusion et sélection des sujets

Le premier biais identifiable dans la mise en place de cette enquête est l'absence de tirage au sort des participants. Il aurait été préférable de faire parvenir le questionnaire à un échantillon de praticiens tirés au sort parmi la population générale des praticiens exerçant l'orthodontie en France (spécialistes ou non, exclusifs ou non, titulaires, collaborateurs, salariés, ...). Le nombre de questionnaires envoyés doit tenir compte du nombre de sujets nécessaires à l'obtention de résultats significatifs et du taux de réponse attendu. En se basant sur 50% de réponses au questionnaire, le nombre de questionnaires à envoyer devait être d'un peu plus de 484. Avec une telle méthodologie, l'échantillon aurait été plus représentatif de la population générale. Cependant, les seules informations démographiques trouvées sur des praticiens orthodontistes en France sont disponibles sur le site internet de l'Ordre National des Chirurgiens-Dentistes (ONCD) (96), et ces données ne concernent que le nombre et la part de spécialistes qualifiés en orthopédie dento-faciale (SQODF) par département. Ces données étant incomplètes, la population cible ne pouvait pas être définie avec précision. La population estimée sur le site de l'ONCD est de 2409 SQODF en avril 2021. La population réelle de praticiens exerçant l'orthodontie en France étant impossible à connaître, nous sommes donc partis du principe que la grande majorité d'entre eux sont des spécialistes qualifiés et que les données à notre disposition permettaient une enquête quasi-exhaustive de la population d'orthodontistes français.

Concernant les critères d'exclusion, il a été décidé d'éliminer les réponses incomplètes, quel que soit le niveau où s'est arrêté le participant. Ceci a très certainement fait mettre de côté une partie des réponses qui auraient pu permettre d'augmenter la puissance et la significativité des résultats. Les réponses incomplètes seront analysées et détaillées par la suite.

2. Diffusion du questionnaire

La diffusion du questionnaire a été réalisée par courriel, à partir du registre des praticiens de la SFODF. Ce registre a permis l'envoi de 1567 courriels, à des praticiens de toute la France et de tout âge sur un total d'environ 2000 membres. Les praticiens exerçant à l'étranger ou n'ayant pas renseigné leur adresse électronique avaient été exclus. Cela a donné l'occasion de s'adresser à un grand nombre d'orthodontistes français. Malgré tout, un taux de participation extrêmement faible (<14,1%) est regretté. Il n'avait pas été anticipé, ce qui n'a pas permis d'atteindre le nombre de sujets nécessaires.

L'échantillon décrit présente donc des biais de sélection par l'absence de randomisation, et une population source peut être plus sensible à la révolution numérique en cours que la moyenne. En effet, les praticiens actifs auprès de la SFODF (qui est une société savante) et des groupes professionnels sur le réseau social Facebook® sont donc probablement assez investis dans leur formation continue et donc potentiellement dans l'utilisation de technologies nouvelles. La fréquence de l'usage de l'empreinte numérique observée a donc été certainement surestimée.

Le courriel envoyé indiquait le titre du questionnaire : « *Évaluation de l'usage de l'empreinte numérique par les orthodontistes français* », suivi des informations suivantes « *Cette étude a pour objectif de décrire la diffusion et l'usage de l'empreinte optique par les orthodontistes français. Elle s'intègre dans un projet de thèse d'exercice et mémoire de spécialité d'internat en orthopédie dento-faciale* ». Le titre et la description étant très ciblés sur le numérique, il est possible que des praticiens non-équipés ou non-intéressés par ces technologies n'aient pas trouvé l'intérêt de répondre à notre étude. Enfin, ceux exerçant en tant que collaborateurs, remplaçants ou salariés ne se sont peut-être pas sentis concernés car ils ne sont pas propriétaires du matériel d'empreintes numériques avec lequel ils exercent.

Enfin, il n'a pas été souhaité que le questionnaire soit massivement diffusé à l'échelle locale (Gironde et alentours...) via le conseil de l'ordre départemental ou nos relations personnelles afin d'éviter un biais géographique et toucher de façon homogène des praticiens partout en France.

B. Résultats

Le nombre total de questionnaires récoltés est de 361. Après suppression de 23 doublons, 221 questionnaires complets et 117 incomplets ont été obtenus, soit un nombre insuffisant de questionnaires compte tenu du nombre de sujets nécessaire calculé ($n=323$). La justification de ce biais a été détaillée précédemment dans la critique de la méthodologie.

Le nombre de sujets nécessaires n'ayant pas été atteint, seules les statistiques descriptives ont été réalisées. Les résultats de cette étude peuvent donc être considérés comme « préliminaires », sans prétention de vouloir les extrapoler à la population générale, et pourront servir à l'établissement d'un protocole de recherche futur. De plus, les statistiques analytiques n'ont pas été réalisées car elles n'auraient pas été fiables.

1. Mise en perspective des données démographiques

En 2021, l'ONCD rapporte 2409 SQODF en France, sur un total de 42866 chirurgiens-dentistes, soit 5,6%. Dans notre enquête, ils représentent 77% des questionnaires complets ($n=172$). Il est possible d'affirmer que, ont été interrogés avec un questionnaire complet, 7,1% des SQODF français, cette part s'élevant à 9,1% en comptabilisant les réponses incomplètes.

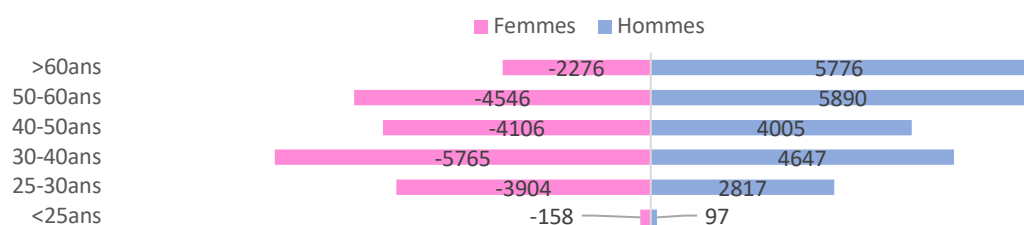
Grâce aux données disponibles sur le site de l'ONCD, il a été vérifié que, dans une certaine mesure et malgré le manque de questionnaires récoltés, l'échantillon pourrait être représentatif d'un point de vue qualitatif de la population cible.

Pour ce qui est de la représentation hommes/femmes, la part de femmes est plus élevée dans l'échantillon (55%) que dans la population de chirurgiens-dentistes inscrit au CNO (47%).

	HOMMES	FEMMES	SANS REPONSE	TOTAL
CHIRURGIENS- DENTISTES (ONCD)	23232 53%	20755 47%	NA NA	43987
PARTICIPANTS ENQUETE	90 41%	122 55%	9 4%	221

Tableau 2 : Répartition hommes/femmes parmi les chirurgiens-dentistes en France (ONCD) et les participants de l'enquête

Il a également été comparé les pyramides des âges des praticiens de l'échantillon, avec celle des chirurgiens-dentistes inscrits au Conseil National de l'Ordre (CNO). Une répartition similaire est observée, excepté pour les plus de 60ans et les tranches les plus jeunes. Les hommes de 25-30 ans, sont sous-représentés dans l'échantillon. Il peut être intéressant de se demander si les jeunes orthodontistes sont effectivement majoritairement des femmes ? De plus, la présence d'un seul praticien de moins de 25ans dans notre étude peut s'expliquer par l'accès à la spécialité, avec un DES de 3ans, retardant la fin des études et l'installation au-delà de 25ans. De même, la sous-représentation de la tranche de praticiens les plus âgés (>60ans) est-elle due à un faible nombre d'orthodontistes âgés en exercice (par rapport aux omnipraticiens) ou à une absence de réponse au questionnaire liée à leur désintéressement pour le numérique et les nouvelles technologies ?

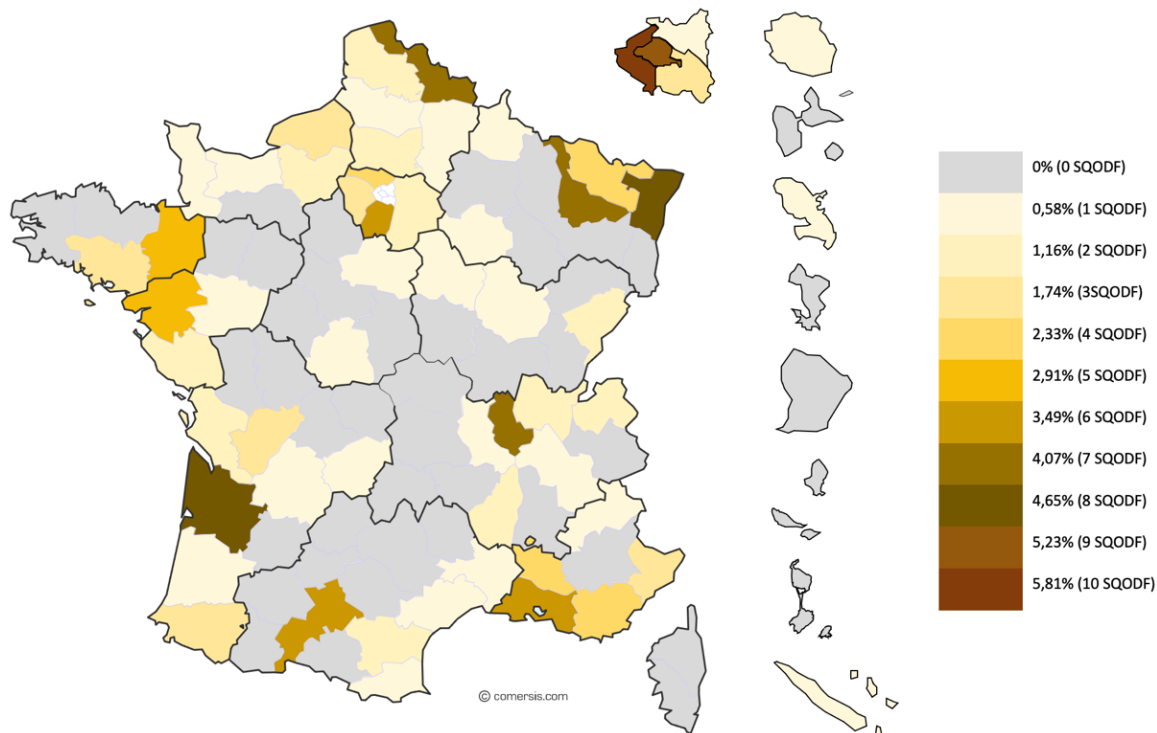


Graphique 29 : Pyramide des âges des chirurgiens-dentistes en France (selon l'ONCD)



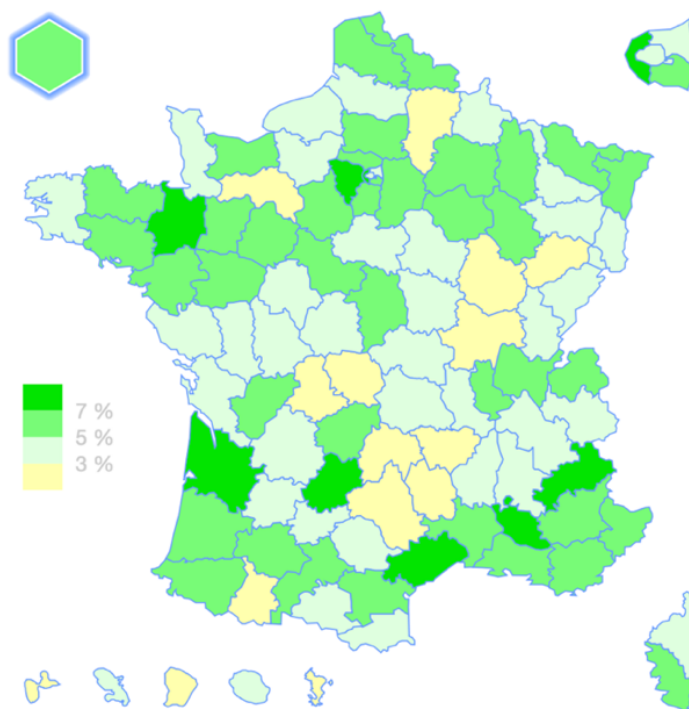
Graphique 30 : Pyramide des âges des participants à l'enquête

Afin de ne pas introduire de biais, il a été comparé la répartition géographique uniquement des praticiens s'étant déclarés SQODF dans les questionnaires complets. Cette répartition permet l'obtention de la carte suivante :



Graphique 31 : Répartition par département du nombre et de la part des praticiens SQODF en exercice inclus dans l'étude

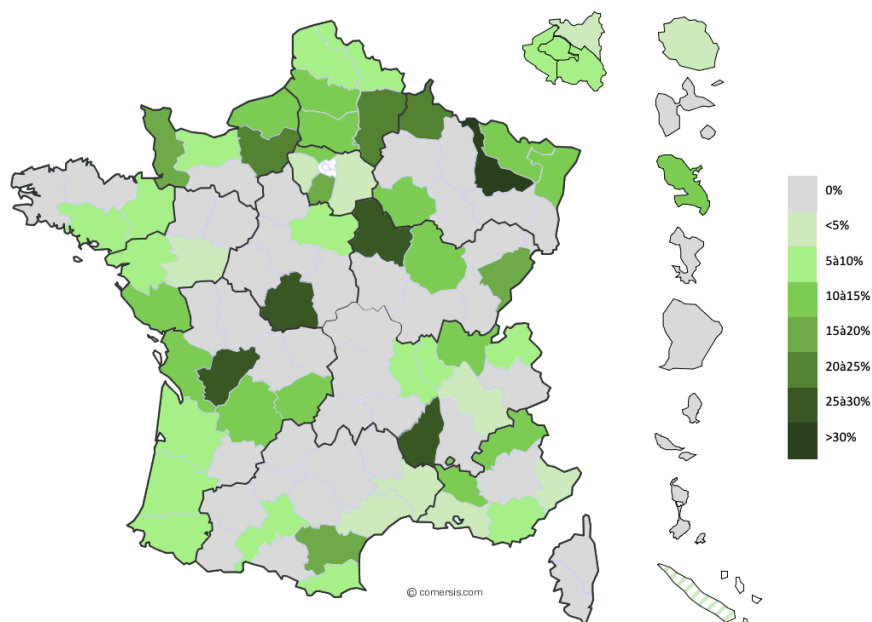
Elle est à mettre en parallèle avec cette de l'ONCD représentant la part de SQODF parmi l'ensemble des chirurgiens-dentistes dans chaque département français.



Graphique 32 : Part des praticiens SQODF dans chaque département français (ONCD) (96)

A l'aide de ces mêmes cartes, il a été établi, dans chaque département, le pourcentage de praticiens spécialistes ayant répondu à l'enquête. Une disparité importante est à remarquer : certains départements comptent initialement peu de spécialistes, ils présentent donc des pourcentages plutôt extrêmes, par exemple :

- Indre : 4 SQODF recensés, 1 réponse au questionnaire → 25%
- Aveyron : 4 SQODF recensés, 0 réponse au questionnaire → 0%



Graphique 33 : Pourcentage dans chaque département de la part de praticiens SQODF ayant répondu à l'enquête

La répartition géographique, par département d'exercice, des praticiens ayant répondu à l'enquête semble tout de même représentative de celle des orthodontistes en France.

Les données démographiques retrouvées dans cette étude sont en cohérence avec les informations renseignées sur le site de l'ONCD. Il est possible de supposer que l'échantillon pourrait être représentatif de la population de SQODF, malgré un nombre de questionnaires insuffisants (221 au lieu de 323) soit 7,1% des SQODF. Cette enquête donne un aperçu non négligeable de l'équipement et de l'usage des empreintes numériques en France.

2. Équipements et utilisation

Les données obtenues sont déclaratives. Aucune étude n'ayant été réalisée sur l'équipement des praticiens exerçant l'orthodontie en France, il est impossible de juger de la pertinence des résultats ni de les comparer avec les données de la littérature. Cependant, compte tenu de l'explosion des formations continues en lien avec le numérique, du *merchandising* réalisé par les laboratoires et du confort que peut apporter l'utilisation de ces technologies, nous pouvons conclure à une certaine cohérence des résultats avec la réalité.

3. Diagnostic

Les méthodes diagnostiques des praticiens interrogés ont été analysées en séparant deux échantillons : les *équipés* et les *non équipés*. L'objectif était d'évaluer si l'utilisation du numérique introduit une modification des moyens et des méthodes d'analyse de modèles d'étude.

Quel que soit l'échantillon étudié, il a été montré que le diagnostic est bel et bien réalisé en utilisant les paramètres énoncés dans l'article de Lejoyeux (28). Ces critères diagnostics sont majoritairement évalués simplement par estimation visuelle de la mesure lors de la manipulation du modèle (physique ou virtuel). Lors de l'analyse de modèles numériques, les logiciels de mesures semblent également peu sollicités. Est-ce lié à la confiance du praticien en son sens clinique ? Cela ne serait-il pas dû aux difficultés de manipulation, au manque de temps, ou tout simplement à la méconnaissance de toutes les possibilités de mesures fournies par les logiciels ? L'automatisation de ces mesures et notamment de l'encombrement pourrait être à envisager par l'ensemble des développeurs de logiciels. Il semble que la configuration du flux numérique ne soit pas optimale malgré l'équipement. Cependant, il n'est pas certain que l'estimation visuelle soit identique sur un modèle physique ou un modèle virtuel !

Plusieurs études (97) (98) (99) ont montré qu'il n'existait pas de différence significative lors de la prise de décision, que le diagnostic soit réalisé sur modèles numériques virtuels (sur écran) ou sur modèles physiques. Mais cette prise de décision serait-elle influencée par la mesure automatisée par le logiciel de ces critères diagnostics ?

4. Charge mentale

Cette analyse a permis d'évaluer le niveau de confiance en soi des praticiens lors de la réalisation de diagnostics sur modèles virtuels, ou les éventuelles craintes liées aux modèles numériques pour ceux n'étant pas équipés. Ces paramètres n'ayant jamais été étudiés auparavant, il peut être intéressant, dans une étude complémentaire, d'approfondir les capacités d'apprentissage des praticiens lors de l'utilisation nouvelle de modèles virtuels, en fonction de l'expérience d'usage du numérique et de la réalité virtuelle dans la vie quotidienne.

5. Questionnaires incomplets

Il a été décidé initialement de ne présenter que les résultats tirés des questionnaires complets. Pourtant, 64 questionnaires incomplets comportent des données exploitables, et

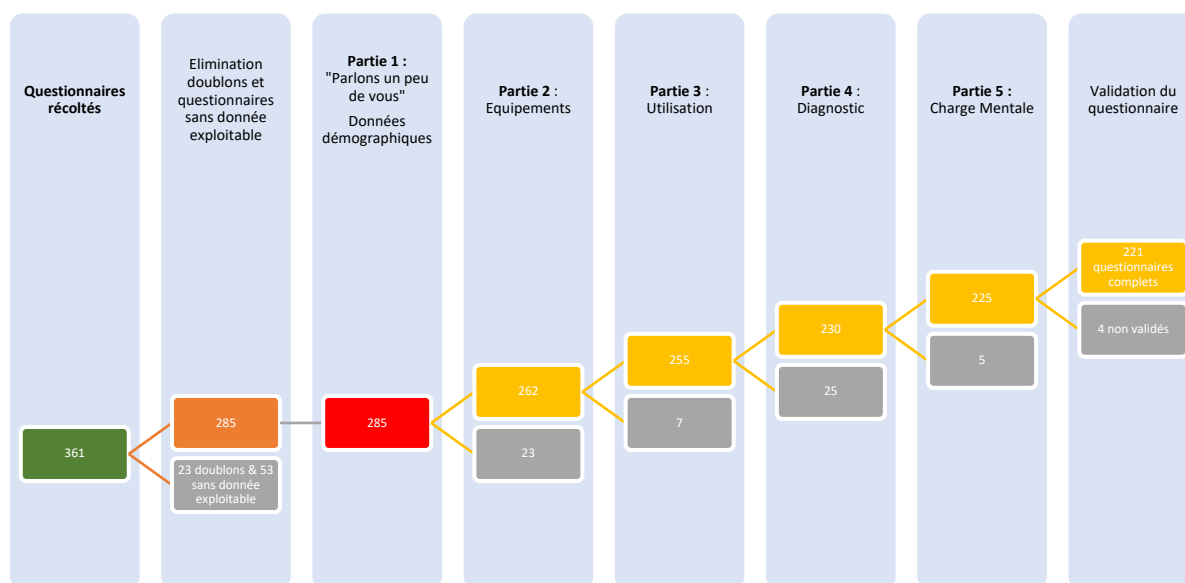
notamment des données démographiques, correspondant aux questions de la partie 1 de l'enquête. Elles pourraient permettre d'augmenter la représentativité de l'échantillon et la puissance de cette étude.

i. Motifs d'interruption

Tout d'abord, il est nécessaire d'identifier les différentes situations ayant conduit à l'interruption des questionnaires. Celle au cours de la partie 2, avec 23 interruptions, pourrait s'expliquer par un désintéressement des praticiens non-équipés en numérique à l'approche de la question « Possédez-vous une caméra optique, un scanner d'empreintes ou un scanner de modèles, sur votre lieu d'exercice principal ? ». C'est un potentiel biais de cette étude : ce sont en majorité les praticiens équipés en numérique qui se sont sentis concernés.

Au cours de la partie 3, la partie 5 et en fin d'enquête (questionnaires non-validés), sont retrouvés respectivement 7, 5 et 4 interruptions. Ces valeurs semblent homogènes et peuvent s'expliquer par une lassitude liée à la longueur de l'enquête.

En revanche, une interruption massive (25 questionnaires) lors de la partie « diagnostic » est constatée. Quels peuvent être les motifs d'un si grand nombre à ce stade-là de l'enquête ? Cette question comprend un grand tableau concernant l'évaluation des paramètres les plus courants (*Annexe 1*). Il est possible que ce volumineux tableau ait découragé une partie des praticiens. Il est aussi envisageable que les praticiens n'aient pas souhaité partager leur pratique clinique, selon le biais cognitif de désirabilité sociale.



Graphique 34 : Chronologie de l'enquête et évolution du nombre de questionnaires récoltés

ii. Analyse des résultats incomplets

Une analyse statistique descriptive des questionnaires incomplets a été réalisée. Concernant les données démographiques des praticiens ayant répondu partiellement à l'enquête, elles sont identiques à celles obtenues après analyse des questionnaires complets (*Tableau 1*) pour les données de tranche d'âge, d'année de début de pratique, de qualification et de spécialisation (77% de SQODF). La seule variable induisant une modification significative des données démographiques est le genre. En effet, la part de femmes n'ayant pas complété le questionnaire y est plus importante (61%), ce qui augmenterait le déséquilibre hommes/femmes si les réponses incomplètes étaient comptabilisées, résultats déjà en contradiction avec les données retrouvées sur le site de l'ONCD (96).

La même répartition de praticiens équipés/non équipés est également retrouvée parmi les questionnaires incomplets, ainsi que données similaires pour l'ensemble des questions concernant les équipements et l'utilisation des modèles numériques.

Pour les parties suivantes (diagnostic et charge mentale), il n'y a pas d'influence de l'ajout des questionnaires incomplets aux vues du faible nombre de questionnaires supplémentaires. Des résultats identiques sont obtenus concernant le pourcentage de praticiens qui utilisent les modèles numériques pour l'établissement de leurs plans de traitement.

L'analyse des questionnaires incomplets permet de mettre en évidence qu'en augmentant la taille de l'échantillon (jusqu'à 285), la tendance des résultats reste la même. L'analyse des seuls questionnaires complets ne semble pas induire de biais.

C. Estimation des distances sur modèle réel et virtuel : influence sur la prise de décision ?

Avec l'habitude, le praticien spécialiste tend progressivement vers la réalisation de simples estimations de ces mesures sur les modèles. En 2015, Song *et al.* (100) ont publié une étude où 69 orthodontistes ont dû estimer, sur 108 modèles en plâtre, plusieurs variables habituellement estimées par un orthodontiste. Les valeurs ont été comparées aux valeurs réelles mesurées à l'aide pieds à coulisse. Les résultats obtenus ont révélé une corrélation statistiquement significative entre les mesures objectives et les estimations effectuées par les orthodontistes. Cliniquement, cela signifie que l'estimation sur modèles physiques semble être une méthode fiable de diagnostic et de prise de décision pour un orthodontiste expérimenté. Cependant, dans une autre étude de Naish *et al.* (101), il a été démontré que l'estimation visuelle simple de l'encombrement sur modèle mandibulaire tend vers une surestimation de sa valeur. Dans ce cas, les traitements avec

extractions étaient plus souvent indiqués lorsqu'il estimait l'encombrement que lorsque la valeur réelle était connue. Enfin, Wallis *et al.* (102), au cours d'une étude similaire, avaient retrouvé une grande variabilité dans l'estimation visuelle de l'encombrement en fonction des praticiens mais il a été démontré que plus l'encombrement était important, plus les extractions étaient indiquées.

Les résultats de notre étude montrent la sous-exploitation de tous les logiciels et outils de mesures qui s'offrent aux praticiens lors de l'utilisation de modèles virtuels. Il est donc possible de formuler l'hypothèse que, si sa fiabilité d'estimation visuelle est perturbée en numérique, le praticien peut être amené à des prises de décision différentes.

Pour approfondir cette hypothèse, il faut citer un mémoire de DESODF réalisé en 2016 (103) ayant fait estimer des paramètres diagnostic sur modèles numériques à un panel de praticiens. Les résultats de cette étude ont montré des différences significatives entre estimation visuelle sur modèle virtuel et mesure objective, notamment pour l'encombrement mandibulaire.

Une étude, comparant des estimations de mesures sur modèles physiques et virtuels permettrait de confirmer ou d'infirmer la différence de capacité d'évaluation des praticiens sur différents supports. Ceci fera l'objet d'un mémoire de DESODF, en cours de rédaction.

CONCLUSION

L'orthodontie fait face depuis plusieurs années à une réelle **révolution numérique**. Celle-ci intéresse **toutes les phases d'un traitement** : la première consultation, le diagnostic, la prise de décision, le traitement et le suivi de contention. Les modèles virtuels, issus ou non d'empreintes numériques en sont la principale illustration. Cependant, malgré l'engouement visible des laboratoires pour le développement d'outils de plus en plus élaborés, aucune étude n'avait encore réellement évalué l'usage de ces technologies en pratique courante en France.

Cette enquête, assez généraliste, permet de conclure que **84%** des praticiens ayant répondu au questionnaire sont **équipés en matériel d'empreintes numériques**. Parmi eux, **85%** les utilisent pour la **réalisation de l'intégralité de leurs diagnostics et plans de traitements**.

Les empreintes numériques sont donc déjà bien répandues et utilisées sur le territoire français. Malgré cela, il est indispensable de relever la sous-utilisation des outils de mesure numérique alors que leur précision pour le diagnostic et la planification n'est plus à démontrer. Cela peut-il s'expliquer par une formation à la manipulation de ces outils insuffisante ? De plus, les éventuelles distorsions présentes lors de l'utilisation de modèles virtuels ne semblent pas être connues des praticiens. Pour cela, des études plus approfondies comparant la qualité des diagnostics et des prises de décision sur modèles physiques et virtuels sont à envisager afin de mesurer leur impact et faire évoluer les pratiques, pour conférer aux praticiens la possibilité d'être aussi efficaces quel que soit le support utilisé.

Il reste nécessaire de souligner que les modèles, virtuels ou réels, demeurent des examens « complémentaires ». Le diagnostic et la prise de décision reposent avant tout sur un interrogatoire et un examen clinique complets, et l'ensemble des éléments recueillis seront analysés et exploités grâce au **sens clinique** et à **l'expérience** de l'orthodontiste.

ANNEXES

Annexe 1 : Enquête - Evaluation de l'usage de l'empreinte numérique par les orthodontistes français

Enquête - Evaluation de l'usage de l'empreinte numérique par les orthodontistes français

Cette étude a pour objectif de décrire la diffusion et l'usage de l'empreinte optique par les orthodontistes français. Elle s'intègre dans un projet de thèse d'exercice et de mémoire de spécialité d'internat en orthopédie dento-faciale.



Bienvenue et merci d'avance d'avoir accepté de participer à ce questionnaire. Il ne vous prendra que quelques minutes.

[Charger un questionnaire non terminé](#) [Suivant >](#) [Sortir et effacer vos réponses](#)

Parlons un peu de vous !

Genre :

Féminin Masculin Sans réponse

Tranche d'âge :

Moins de 25ans
 25-30ans
 30-40ans
 40-50ans
 50-60ans
 Plus de 60ans

Vous êtes :
Cochez la ou les réponses

Chirurgien dentiste spécialiste qualifié(e) en ODF
 Chirurgien dentiste avec pratique exclusive de l'orthodontie
 Chirurgien dentiste omnipraticien
 En formation (interne DESODF)
 En formation (interne DESODMF)
 Autre :

Depuis quelle année exercez vous l'orthodontie?

Dans quel département exercez vous?
Veillez sélectionner une réponse ci-dessous

▼

Equipement

Possédez-vous une caméra optique, un scanner d'empreintes ou un scanner de modèles, sur votre lieu d'exercice principal ?

Oui Non

Questionnaire pour praticiens non-équipés :

Equipement

• Possédez-vous une caméra optique, un scanner d'empreintes ou un scanner de modèles, sur votre lieu d'exercice principal ?

Oui Non

• Envisagez-vous de vous équiper?

Oui Non

• Par quel système seriez-vous intéressé?

Cochez la ou les réponses

TRIOS 3
 TRIOS 4
 MEDIT i500
 Emerald
 CS3600
 CS3700
 Primescan
 Omnicam
 Element 2
 Element 5D
 Un scanner de modèles et/ou d'empreintes
 Je ne sais pas
 Autre :

Nous vous proposons la lecture de cet article : [ici](#)

• Envisagez-vous de vous équiper?

Oui Non

• Pour quel(s) motif(s) ?

? (à cause de l'investissement financier, organisationnel, des incertitudes liées au COVID, du manque de formation, peur de la courbe d'apprentissage, non convaincu par les systèmes testés, ...)

Diagnostic

• Quels critères interviennent dans votre décision thérapeutique? Comment les évaluez-vous?

	Estimé visuellement	Mesuré systématiquement	Parfois mesuré parfois estimé	Non évalué
Encombrement	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Courbe de Spee	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
DDD	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Surplomb	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Recouvrement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Classe molaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Classe Canine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Défaut transversal molaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Défaut transversal canine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

• Sur quel(s) support(s) réalisez-vous vos estimations?

Cochez la ou les réponses

Lors de l'examen clinique
 Sur les photographies intra-orales
 Sur modèle physique en plâtre
 Autre :

* Sur quel(s) support(s) mesurez-vous ou faites vous mesurer ce(s) critère(s)?
Cochez la ou les réponses

- En bouche
 Sur modèle physique en plâtre
 Autre :

* Dans quelle(s) situation(s) clinique(s) votre décision thérapeutique doit-elle passer par un modèle physique?

Charge mentale

* Dans quelle mesure, l'interaction avec le modèle physique (vue + manipulation), vous semble nécessaire à la réalisation du diagnostic ?

- 1 2 3 4 5

? 1: modèle physique **pas du tout** nécessaire à la réalisation du diagnostic
5: modèle physique **indispensable** à la réalisation du diagnostic

* Pensez-vous que l'appréciation des critères cliniques puisse être biaisée par les modèles virtuels ?

- 1 2 3 4 5

? 1: Non **pas du tout** biaisée
5: Oui **totale**ment biaisée

* Avez-vous déjà utilisé un logiciel de manipulation de modèles virtuels ?

- Oui Non

*
Considérez-vous la réalisation d'un diagnostic sur modèle virtuel plus complexe ?
(justifier pourquoi)

Veillez sélectionner une réponse ci-dessous

- Oui totalement
 Oui un peu
 Non pas tellement
 Non pas du tout

Veillez saisir votre commentaire ici:

* Avez-vous déjà utilisé un logiciel de manipulation de modèles virtuels ?

- Oui Non

*
Imaginez-vous que la réalisation d'un diagnostic sur modèle virtuel soit plus complexe ?
(justifier pourquoi)

Veillez sélectionner une réponse ci-dessous

- Oui totalement
 Oui un peu
 Non pas tellement
 Non pas du tout

Veillez saisir votre commentaire ici:

Questionnaire pour praticiens équipés :

Equipement	
* Possédez-vous une caméra optique, un scanner d'empreintes ou un scanner de modèles, sur votre lieu d'exercice principal ?	
<input checked="" type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non	
* Quel(s) système(s) utilisez-vous? Cochez la ou les réponses	
<input type="checkbox"/> TRIOS 3 <input type="checkbox"/> TRIOS 4 <input type="checkbox"/> MEDIT i500 <input type="checkbox"/> Emerald <input type="checkbox"/> CS3600 <input type="checkbox"/> CS3700 <input type="checkbox"/> Primescan <input type="checkbox"/> Omnicam <input type="checkbox"/> Element 2 <input type="checkbox"/> Element 5D <input checked="" type="checkbox"/> Un scanner de modèles et/ou d'empreintes <input type="checkbox"/> Autre : <input type="text"/>	
Quel modèle de scanner ? <input type="text"/>	
Possédez-vous une imprimante 3D? Cochez la ou les réponses	
<input type="checkbox"/> FDM (pour quelle utilisation?)	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> SLA (pour quelle utilisation?)	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> DLP (pour quelle utilisation?)	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> SLS (pour quelle utilisation?)	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Je fais imprimer par un laboratoire externe	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Je ne fais JAMAIS imprimer mes modèles	<input type="text"/>
Autre : <input type="text"/>	<input type="text"/>
Utilisation	
* Quel pourcentage de vos empreintes réalisez-vous à l'aide de la caméra optique? Veuillez sélectionner une réponse ci-dessous	
<input type="radio"/> 0-25% <input type="radio"/> 25-50% <input type="radio"/> 50% <input type="radio"/> 50-75% <input type="radio"/> 75-100% <input type="radio"/> 100%	
A quelle(s) fin(s) utilisez-vous l'empreinte optique? Cochez la ou les réponses	
<input type="checkbox"/> Analyse des modèles d'études <input type="checkbox"/> Appareils orthopédiques fixes <input type="checkbox"/> Appareils orthopédiques amovibles <input type="checkbox"/> Multi-attaches vestibulaire <input type="checkbox"/> Multi-attaches lingual <input checked="" type="checkbox"/> Aigneurs <input type="checkbox"/> Confection de gouttières chirurgicales de transfert <input type="checkbox"/> Fil de contention <input type="checkbox"/> Gouttière de contention <input type="checkbox"/> Autre : <input type="text"/>	

* Pour la réalisation des aligneurs, les empreintes optiques sont traitées :
Cochez la ou les réponses

- In house (quel logiciel?)
- Par un laboratoire (lequel?)

* Pour le multi-attache vestibulaire, les empreintes optiques servent-elles au collage indirect?

- Oui Non

* Les gouttières de collage indirect sont elles réalisées :
Cochez la ou les réponses

- Au cabinet (quel logiciel?)
- Par un laboratoire (lequel?)

Diagnostic

* Utilisez-vous les empreintes optiques pour faire le diagnostic de tous les patients?

- Oui Non

* Quels critères interviennent dans votre décision thérapeutique? Comment les évaluez-vous?

	Estimé visuellement	Mesuré systématiquement	Parfois mesuré parfois estimé	Non évalué
Encombrement	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Courbe de Spee	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
DDD	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Surplomb	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Recouvrement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Classe molaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Classe Canine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Défaut transversal molaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Défaut transversal canine	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

*** Sur quel(s) support(s) réalisez-vous vos estimations?**

Cochez la ou les réponses

- Lors de l'examen clinique
- Sur les photographies intra-orales
- Sur modèle numérique
- Sur modèle physique en plâtre
- Sur modèle physique imprimé au cabinet
- Sur modèle physique imprimé par un laboratoire externe
- Autre :

*** Sur quel(s) support(s) mesurez-vous ou faites vous mesurer ce(s) critère(s)?**

Cochez la ou les réponses

- En bouche
- Sur modèle numérique
- Sur modèle physique en plâtre
- Sur modèle physique imprimé au cabinet
- Sur modèle physique imprimé par un laboratoire externe
- Autre :

*** A l'aide de quel(s) logiciel(s) ?**

Cochez la ou les réponses

- OrthoAnalyzer - 3Shape
- Maestro 3D - Ortho Studio
- OnyxCeph3 - Scheu Dental
- Orth'Up - 3D Totem
- 3D Ortho Studio - Planmeca Romexis
- O3D - Orchestra
- OrthoCAD - Cadent
- Ortho 3D Models (O3DM) - Ortholab
- DigiModel - OrthoProof
- Ortho X file - Dentaurum
- Autre :

*** Dans quelle(s) situation(s) clinique(s) votre décision thérapeutique doit-elle passer par un modèle physique?**

Charge mentale

* Dans quelle mesure, l'interaction avec le modèle physique (vue + manipulation), vous semble nécessaire à la réalisation du diagnostic ?

1 2 3 4 5

? 1: modèle physique **pas du tout** nécessaire à la réalisation du diagnostic
5: modèle physique **indispensable** à la réalisation du diagnostic

* Pensez-vous que l'appréciation des critères cliniques puisse être biaisée par les modèles virtuels ?

1 2 3 4 5

? 1: Non **pas du tout** biaisée
5: Oui **totale**ment biaisée

Selon vous :

	Oui totale	Oui un peu	Non pas tellement	Non pas du tout	Sans réponse
La réalisation d'un diagnostic sur modèle virtuel est plus complexe?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
L'apprentissage pour remplacer les modèles physiques par les modèles virtuels est difficile?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
L'apprentissage doit passer par la comparaison du modèle virtuel et du modèle physique ?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

TABLES DES ILLUSTRATIONS – GRAPHIQUES – TABLEAUX

Figure 1 : Triangulation Laser (Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. International Orthodontics. 1 juin 2016;14(2):184-94).....	13
Figure 2 : Projection de franges de lumière (Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. International Orthodontics. 1 juin 2016;14(2):184-94).....	14
Figure 3 : Imagerie parallèle confocale (Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. International Orthodontics. 1 juin 2016;14(2):184-94).....	14
Figure 4 : Vidéo 3D "in motion" : vidéo stéréophotogrammétrique (Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. International Orthodontics. 1 juin 2016;14(2):184-94).....	15
Figure 5 : Mesure de l'espace nécessaire (Boileau MJ, Canal P. Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte Tome 1 : principes et moyens thérapeutiques. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2011.).....	23
Figure 6 : Méthode du fil de laiton.....	24
Figure 7 : Courbe de Spee - Baldrige, Doyle W. Le nivellement de la courbe de Spee : son effet sur la longueur de l'arcade mandibulaire. Revue d'Orthopédie Dento-Faciale 5, no. 3 (July 1, 1971).p 287–311.	25
Figure 8 : Segmentation des dents : capture d'écran du logiciel CS Model+ (Carestream Dental) - Courtoisie de M. Leconte C.....	26
Figure 9 : Réalisation d'un set-up numérique et superposition : capture d'écran du logiciel CS Model+ (Carestream Dental) - Courtoisie de M. Leconte C.....	28
Graphique 1 : Diagramme de flux.....	47
Graphique 2 : Équipement des praticiens.....	48
Graphique 3 : Pyramide des âges (n=221).....	48
Graphique 4 : Lieu d'exercice des 221 participants à l'enquête et représentativité de chaque département.....	49
Graphique 5 : Intentions d'acquisition de matériel d'empreintes numériques.....	51
Graphique 6 : Modèle de caméra souhaité pour une acquisition future.....	52
Graphique 7 : Méthode d'évaluation des paramètres diagnostiques - praticiens non-équipés....	53
Graphique 8 : Support de réalisation des estimations - praticiens non-équipés.....	53
Graphique 9 : Support de réalisation des mesures - praticiens non-équipés.....	54
Graphique 10 : Situations cliniques de recours à un modèle physique - praticiens non-équipés .	54
Graphique 11 : Répartition par marque et modèle de caméra utilisés par les orthodontistes français.....	56
Graphique 12 : Méthode d'impression des modèles en pratique quotidienne.....	57
Graphique 13 : Part d'empreintes quotidiennes réalisées en numérique.....	58
Graphique 14 : Utilisation des empreintes numériques par moyen thérapeutique.....	58
Graphique 15 : Méthode de réalisation d'aligneurs et laboratoire externe ou logiciel utilisé.....	59
Graphique 16 : Méthode de réalisation de gouttières de collage indirect vestibulaire et laboratoire ou logiciel utilisé.....	59
Graphique 17 : Part des praticiens utilisant les empreintes numériques pour la réalisation de l'intégralité de leurs diagnostics et plans de traitement.....	60
Graphique 18 : Méthode d'évaluation des paramètres diagnostiques - praticiens équipés.....	60
Graphique 19 : Support de réalisation des estimations - praticiens équipés.....	61
Graphique 20 : Support de réalisation des mesures - praticiens équipés.....	61
Graphique 21 : Logiciels utilisés pour la réalisation de mesures.....	62
Graphique 22 : Situations cliniques de recours à un modèle physique - praticiens équipés.....	62

Graphique 23 : Charge mentale de la réalisation de diagnostics et appréciation des critères cliniques sur modèles virtuels.....	63
Graphique 24 : Charge mentale de la réalisation de diagnostics et appréciation des critères cliniques sur modèles virtuels - praticiens non-équipés.....	64
Graphique 25 : Expérience de manipulation de modèles virtuels et complexité du diagnostic - praticiens non-équipés	65
Graphique 26 : Besoin d'interaction avec un modèle physique pour la réalisation de diagnostics	66
Graphique 27 : Appréciation clinique biaisée lors de l'utilisation de modèles virtuels	66
Graphique 28 : Ressenti des praticiens équipés sur la réalisation de diagnostics et l'apprentissage de l'utilisation des modèles virtuels.....	67
Graphique 29 : Pyramide des âges des chirurgiens-dentistes en France (selon l'ONCD)	71
Graphique 30 : Pyramide des âges des participants à l'enquête	71
Graphique 31 : Répartition par département du nombre et de la part des praticiens SQODF en exercice inclus dans l'étude	72
Graphique 32 : Part des praticiens SQODF dans chaque département français (ONCD) (96)	72
Graphique 33 : Pourcentage dans chaque département de la part de praticiens SQODF ayant répondu à l'enquête.....	73
Graphique 34 : Chronologie de l'enquête et évolution du nombre de questionnaires récoltés ...	75
Tableau 1 : Tableau descriptif de la population	50
Tableau 2 : Répartition hommes/femmes parmi les chirurgiens-dentistes en France (ONCD) et les participants de l'enquête	70

BIBLIOGRAPHIE

1. Rekow ED. Digital dentistry: The new state of the art — Is it disruptive or destructive? *Dental Materials*. janv 2020;36(1):9-24.
2. Peter R, Lodter C, Arnaud C. Enquête sur l'informatisation des cabinets d'orthodontie. *Rev Orthop Dento Faciale*. juin 2003;37(2):193-9.
3. Peluso MJ, Josell SD, Levine SW, Lorei BJ. Digital models: An introduction. *Seminars in Orthodontics*. sept 2004;10(3):226-38.
4. Shastry S, Park JH. Evaluation of the use of digital study models in postgraduate orthodontic programs in the United States and Canada. *The Angle Orthodontist*. 1 janv 2014;84(1):62-7.
5. Bassigny F. Manuel d'orthopédie dento-faciale. Paris : Masson ; 1991.
6. ORTIAL J. Les moulages orthodontiques. *L'Orthodontie Française*. 45(2):330-4.
7. Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. *International Orthodontics*. 1 juin 2016;14(2):184-94.
8. Moussally C, Chouraqui J-F. Les différents systèmes d'empreinte optique : comment faire son choix ? *Réalités Cliniques*. 15 décembre 2015; 4:283-293.
9. Dentalcompare.com. (Page consultée le 8/07/2020). Digital Dental Impression Systems, [site internet]. Disponible sur : <https://www.dentalcompare.com/Dental-Digital-Imaging-Dental-Imaging/4875-3D-Camera-Systems-Digital-Impression-Systems/>
10. Cazas T. (Page consultée le 27/04/2020). Banc d'essais 2019 : 7 scanners intra-oraux, [LEFILDENTAIRE magazine dentaire - en ligne]. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/implantologie/banc-d-essais-2019-7-scanners-intra-oraux/>
11. Cazier S, Moussally C. Description of the various digital impression systems. *Rev Odont Stomat* 2013;42:107-118.
12. Coblenz J-F. Empreintes numériques : mythes et réalité quotidienne. *Orthod Fr*. mars 2012;83(1):81-92.
13. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: A review of the current literature. *BMC Oral Health*. 2017;17(1).
14. Kravitz ND, Groth C, Jones PE, Graham JW, Redmond WR. Intraoral Digital Scanners. *J Clin Orthod*. 2014;(6):11.
15. Dentalcompare.com. (Page consultée le 8/07/2020). Dental Laboratory 3D Scanning Systems, [site internet]. Disponible sur : <https://www.dentalcompare.com/Dental-Digital-Imaging-Dental-Imaging/4723-Laboratory-3D-Scanning-Systems/>
16. Abizadeh N, Moles DR, O'Neill J, Noar JH. Digital versus plaster study models: How accurate and reproducible are they? *Journal of Orthodontics*. 1 sept 2012;39(3):151-9.
17. Güth J-F, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clin Oral Invest*. mai 2013;17(4):1201-8.
18. Lee SJ, Kim S-W, Lee JJ, Cheong CW. Comparison of Intraoral and Extraoral Digital Scanners: Evaluation of Surface Topography and Precision. *Dentistry Journal*. juin 2020;8(2):52.
19. Haute Autorité de Santé - Service évaluation des actes professionnels. (Consulté le 10/07/2020). Tomographie volumique à faisceau conique de la face – Rapport d'évaluation - Décembre 2009 [en ligne]. Disponible sur : https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2009-12/rapport_cone_beam_version_finale_2009-12-28_17-27-28_610.pdf

20. de Waard O, Rangel FA, Fudalej PS, Bronkhorst EM, Kuijpers-Jagtman AM, Breuning KH. Reproducibility and accuracy of linear measurements on dental models derived from cone-beam computed tomography compared with digital dental casts. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. sept 2014;146(3):328-36.
21. Kau CH, Littlefield J, Rainy N, Nguyen JT, Creed B. Evaluation of CBCT digital models and traditional models using the Little's Index. *Angle Orthod*. mai 2010;80(3):435-9.
22. Jaisson M. Impression 3D : la nouvelle mode en chirurgie dentaire ? *DT Study Club Le Magazine*. 2015:3.
23. Chouraqui JF. (Page consultée le 4/07/2020). Imprimantes 3D application au cabinet dentaire, [LEFILDENTAIRE magazine dentaire - en ligne]. Disponible sur : <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/imprimantes-3d-application-au-cabinet-dentaire/>.
24. Ceyte Samuel. L'impression 3D : Fonctionnement et perspectives en chirurgie dentaire. Thèse : Chir. Dent. : Lyon : 2016.027.
25. Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D Printing in Dentistry—State of the Art. *Operative Dentistry*. 1 janv 2020;45(1):30-40.
26. Chateau M. Orthopédie dento-faciale (2). Paris: Editions CdP; 1993.
27. Boileau MJ, Canal P. Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte Tome 1 : principes et moyens thérapeutiques. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2011.
28. Lejoyeux E. Diagnostic orthodontique. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Médecine buccale, 28-610-G-10, 2011.
29. Bolton W. Dysharmony in tooth size and its relation to the analysis and treatment malocclusion. *Angle Orthod* 1958 ; 28 : 113-30.
30. Bolton W. The clinical application of a tooth size analysis. *Am J Orthod* 1962 ; 48, 7 : 504-29.
31. Boileau M-J, Canal P. Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte Tome 2. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2011.
32. Pujol A, Boileau MJ. "Dysharmonie dentomaxillaire" ou dysharmonie dents-mâchoires. *EMC - Médecine buccale* 2014;9(5):1-7 [Article 28-636-A-10].
33. Horn AJ, Englebert M. L'analyse de TWEED, une approche originale de l'analyse de l'espace total de la denture. *Rev Orthop Dento Faciale*. avr 1978;12(2):165-71.
34. Nance HN. The limitations of orthodontic treatment: I. Mixed dentition diagnosis and treatment. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery*. 1 avr 1947;33(4):177-223.
35. The Irregularity Index: A quantitative score of mandibular anterior alignment. *American Journal of Orthodontics*. 1 nov 1975;68(5):554-63.
36. Tweed CH. *Clinical orthodontics*. St Louis : CV Mosby ; 1966.
37. Merrifield LL. Diagnostic différentiel et analyse de l'espace total. *J Edge* 1980 ; 1 : 31-5 et 2 : 41-5.
38. Baldrige DW. Leveling the curve of Spee : its effect on mandibular arch length. *JPO J Pract Orthod* 1969 ; 3 (1) : 26-41.
39. Baldrige DW. Le nivellement de la courbe de Spee : son effet sur la longueur de l'arcade mandibulaire. *Rev Orthop Dento Faciale*. juill 1971;5(3):287-311.
40. Garcia R. Leveling the curve of Spee: a new prediction formula. *J Charles H Tweed Int Found*. avr 1985;13:65-72.

41. Sousa MVS, Vasconcelos EC, Janson G, Garib D, Pinzan A. Accuracy and reproducibility of 3-dimensional digital model measurements. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 août 2012;142(2):269-73.
42. Czarnota J, Hey J, Fuhrmann R. Measurements using orthodontic analysis software on digital models obtained by 3D scans of plaster casts. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopadie*. janv 2016;77(1):22-30.
43. Hou D, Capote R, Bayirli B, Chan DCN, Huang G. The effect of digital diagnostic setups on orthodontic treatment planning. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 avr 2020;157(4):542-9.
44. Mattos CT, Gomes AC, Ribeiro AA, Nojima LI, Nojima MC. The importance of the diagnostic setup in the orthodontic treatment plan. *International journal of orthodontics (Milwaukee, Wis)*. 2012;23(2):35-9.
45. Baan F, de Waard O, Bruggink R, Xi T, Ongkosuwito EM, Maal TJJ. Virtual setup in orthodontics: planning and evaluation. *Clin Oral Invest*. 1 juill 2020;24(7):2385-93.
46. Beers AC, Choi W, Pavlovskaia E. Computer-assisted treatment planning and analysis. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2003;6(s1):117-25.
47. Gracco A, Stellini E, Parenti SI, Bonetti GA. Individualized orthodontic treatment: The Insignia system. *ORTHODONTICS: The Art & Practice of Dentofacial Enhancement*. mars 2013;14(1):e88-94.
48. Kihara T, Tanimoto K, Michida M, Yoshimi Y, Nagasaki T, Murayama T, et al. Construction of orthodontic setup models on a computer. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 juin 2012;141(6):806-13.
49. Staderini E, Guglielmi F, Cornelis MA, Cattaneo PM. Three-dimensional prediction of roots position through cone-beam computed tomography scans-digital model superimposition: A novel method. *Orthodontics and Craniofacial Research*. 2019;22(1):16-23.
50. Westerlund A, Tancredi W, Ransjö M, Bresin A, Psonis S, Torgersson O. Digital casts in orthodontics: A comparison of 4 software systems. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 avr 2015;147(4):509-16.
51. Im J, Cha J-Y, Lee K-J, Yu H-S, Hwang C-J. Comparison of virtual and manual tooth setups with digital and plaster models in extraction cases. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 avr 2014;145(4):434-42.
52. Barreto MS, Faber J, Vogel CJ, Araujo TM. Reliability of digital orthodontic setups. *Angle Orthod*. 1 mars 2016;86(2):255-9.
53. Camardella LT, Rothier EKC, Vilella OV, Ongkosuwito EM, Breuning KH. Virtual setup: application in orthodontic practice. *J Orofac Orthop*. 1 nov 2016;77(6):409-19.
54. Tai S. *Clear aligner technique*. Hanover Park, IL: Quintessence Publishing; 2018. 309 p.
55. Bajaj D, Rawat A, Gill DK, Juneja M, Jindal P. Efficacy of Softwares for Generation of Dental Aligners. In: Krishna CR, Dutta M, Kumar R, éditeurs. *Proceedings of 2nd International Conference on Communication, Computing and Networking*. Singapore: Springer; 2019:783-94.
56. Khan W. Nouveaux concepts de traitement par aligneurs : le système Orthocaps. *Orthod Fr*. sept 2014;85(3):253-64.
57. Wong BH. Invisalign A to Z. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 mai 2002;121(5):540-1.

58. Barone S, Neri P, Paoli A, Razionale AV, Tamburrino F. Development of a DLP 3D printer for orthodontic applications. *Procedia Manufacturing*. 1 janv 2019;38:1017-25.
59. Silverman E, Cohen M, Gianelly AA, Dietz VS. A universal direct bonding system for both metal and plastic brackets. *American Journal of Orthodontics*. 1 sept 1972;62(3):236-44.
60. Silverman E, Cohen M. A report on a major improvement in the indirect bonding technique. *J Clin Orthod*. mai 1975;9(5):270-6.
61. Frèrejouand E. Intérêt de l'imagerie tridimensionnelle dans la pratique clinique de l'orthodontie. *Orthod Fr*. déc 2016;87(4):393-410.
62. Christensen LR, Cope JB. Digital technology for indirect bonding. *Seminars in Orthodontics*. 1 déc 2018;24(4):451-60.
63. Redmond WJ, Redmond MJ, Redmond WR. The OrthoCAD bracket placement solution. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 mai 2004;125(5):645-6.
64. Moreau A. SIBSystem : une innovation dans le domaine du collage des attaches orthodontiques? *Orthod Fr*. juin 2013;84(2):201-9.
65. Ormco Corporation. (Page consultée le 12/07/2020). Insignia™ : Système numérique de conception de sourires sur mesure, [Brochure Docteur - en ligne]. Disponible sur: <https://www.ormco.fr/img/brochure-insignia-praticien-762-6048.pdf>
66. Brown MW, Koroluk L, Ko C-C, Zhang K, Chen M, Nguyen T. Effectiveness and efficiency of a CAD/CAM orthodontic bracket system. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 déc 2015;148(6):1067-74.
67. Centre National d'Innovation et de Formation des Prothésistes Dentaires. (Page consultée le 8/07/2020). Le guide de la CFAO dentaire, [en ligne]. Disponible sur : http://www.cnifpd.fr/CNIFPD_v2/pdf/Guide_CFAO.pdf
68. Dahan S, Le Gall M, Julié D, Salvadori A. New protocols for the manufacture of surgical splints in surgical-orthodontic treatment. *International Orthodontics*. 1 mars 2011;9(1):42-62.
69. Bachelet JT, Cliet JY, Chauvel-Picard J, Bouletreau P. La gouttière chirurgicale, place dans la chirurgie orthognathique et perspectives. *Rev Orthop Dento Faciale*. janv 2016;50(1):71-6.
70. Ho C-T, Lin H-H, Lo L-J. Intraoral Scanning and Setting Up the Digital Final Occlusion in Three-Dimensional Planning of Orthognathic Surgery: Its Comparison with the Dental Model Approach. *Plastic and Reconstructive Surgery*. mai 2019;143(5):1027e.
71. Chin S-J, Wilde F, Neuhaus M, Schramm A, Gellrich N-C, Rana M. Accuracy of virtual surgical planning of orthognathic surgery with aid of CAD/CAM fabricated surgical splint—A novel 3D analyzing algorithm. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 1 déc 2017;45(12):1962-70.
72. Zinser M, Zoeller J. Computer-Designed Splints for Surgical Transfer of 3D Orthognathic Planning. *Facial Plast Surg*. oct 2015;31(05):474-90.
73. Adolphs N, Liu W, Keeve E, Hoffmeister B. RapidSplint: virtual splint generation for orthognathic surgery – results of a pilot series. *Computer Aided Surgery*. 1 janv 2014;19(1-3):20-8.
74. Elliot Pascal. La planification et le transfert en chirurgie orthognathique. *Sciences du Vivant [q-bio]*. 2018. dumas-022.
75. Medio M, Chabre C. Récidive et contention. *EMC - Orthopédie Dentofaciale* 2017;12(1):1-10 [Article 23-498-A-40].
76. Léna David. Les contentions : indications, matériaux et effets indésirables. Rédaction de fiches cliniques. *Médecine humaine et pathologie*. 2019. dumas-02480185.

77. Halabi E. Retainers: A Comparative Guide. AACO - the Journal. 2016:4.
78. Kartal Y, Kaya B. Fixed Orthodontic Retainers: A Review. Turk J Orthod 2019; 32(2): 110-4.
79. Kravitz ND, Grauer D, Schumacher P, Jo Y. Memotain: A CAD/CAM nickel-titanium lingual retainer. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1 avr 2017;151(4):812-5.
80. Wolf M, Schumacher P, Jäger F, Wego J, Fritz U, Korbmacher-Steiner H, et al. Novel lingual retainer created using CAD/CAM technology. J Orofac Orthop. 1 mars 2015;76(2):164-74.
81. Ormco Corporation. (Page consultée le 10/07/2020). Memotain® : Dispositif innovant de contention individualisée en nitinol, [Brochure Docteur - en ligne]. Disponible sur : <https://www.ormco.fr/img/brochure-memotain-medecin-762-6424.pdf>.
82. Medio M, Martin C, Pourrat F. L'apport de la CFAO dans la réalisation des contentions orthodontiques collées. Rev Orthop Dento Faciale. avr 2017;51(2):309-17.
83. Sachdeva RCL. SureSmile Technology in a Patient- Centered Orthodontic Practice. 2001;(4):9.
84. Burdea G., Coiffet P., "La réalité virtuelle", Hermès-Paris, chapter 2, p. 243-251, (1993). In.
85. Ziemer CJ, Plumert JM, Cremer JF, Kearney JK. Estimating distance in real and virtual environments: Does order make a difference? Attention, Perception, & Psychophysics. 1 juill 2009;71(5):1095-106.
86. Priot A E, Charbonneau M, Paillé D. Spatial constraints for 3D perception Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 6955 • April 2008.
87. Kwon H-B, Park Y-S, Han J-S. Augmented reality in dentistry: a current perspective. Acta Odontologica Scandinavica. 3 oct 2018;76(7):497-503.
88. Makaremi M, de Brondeau F, Lacaule C, N'Kaoua B. The digital workflow at the service of the practitioner's clinical learning. I Orthodontie Française. juin 2020;91(1-2):93-9.
89. Makaremi M. Les enjeux d'une nouvelle interface. Guiral-Desnoës H, éditeur. Rev Orthop Dento Faciale. oct 2018;52(4):319-24.
90. Collaço E, Kira E, Sallaberry LH, Queiroz ACM, Machado MAAM, Jr OC, et al. Immersion and haptic feedback impacts on dental anesthesia technical skills virtual reality training. J Dent Educ. 2020;1-10.
91. Chen X, Hu J. A review of haptic simulator for oral and maxillofacial surgery based on virtual reality. Expert Review of Medical Devices. 3 juin 2018;15(6):435-44.
92. Medellín-Castillo HI, Govea-Valladares EH, Pérez-Guerrero CN, Gil-Valladares J, Lim T, Ritchie JM. The evaluation of a novel haptic-enabled virtual reality approach for computer-aided cephalometry. Computer Methods and Programs in Biomedicine. 1 juill 2016;130:46-53.
93. Makaremi M. The role of cognitive sciences in orthodontic treatments: optimizing the interface between practitioners and new technologies. J Dentofacial Anom Orthod. 2016;19(4):410.
94. Levine N. Dental technology priorities show the impact of covid-19. July 2021.(page consultée le 1 juillet 2021).]. [Dental Products Report - en ligne]. Disponible sur : <https://cdn.sanity.io/files/0vv8moc6/dpr/8ea204c1f91c3301db25fd943a8e5552d19cd043.pdf>
95. Maisonneuve H, Fournier J-P. Construire une enquête et un questionnaire. E-respect[]. 2012;1(2):15.

96. Ordre National des Chirurgiens-Dentistes. (Page consultée le 10/04/2021). Cartographie et données publiques. [Site internet]. Disponible sur : <https://www.ordre-chirurgiens-dentistes.fr/cartographie/>.
97. Pachêco-Pereira C, De Luca Canto G, Major PW, Flores-Mir C. Variation of orthodontic treatment decision-making based on dental model type: A systematic review. *The Angle Orthodontist*. 6 août 2014;85(3):501-9.
98. Ko H-C, Liu W, Hou D, Torkan S, Spiekerman C, Huang GJ. Agreement of treatment recommendations based on digital vs plaster dental models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 janv 2019;155(1):135-42.
99. Ko H-C, Liu W, Hou D, Torkan S, Spiekerman C, Huang GJ. Recommendations for clear aligner therapy using digital or plaster study casts. *Progress in Orthodontics*. 2018;19(1).
100. Song G, Jiang R, Zhang X, Liu S, Yu X, Chen Q, et al. Validation of subjective and objective evaluation methods for orthodontic treatment outcome. *Journal of Peking University Health sciences*. 2015;47(1):90-7.
101. Naish H, Dunbar C, Crouch-Baker J, Shah K, Wallis C, Atack NE, et al. Does a true knowledge of dental crowding affect orthodontic treatment decisions? *EORTHO*. févr 2016;38(1):66-70.
102. Wallis C, McNamara C, Cunningham SJ, Sherriff M, Sandy JR, Ireland AJ. How good are we at estimating crowding and how does it affect our treatment decisions? *The European Journal of Orthodontics*. 1 août 2014;36(4):465-70.
103. Charpentier V. Perception des modèles virtuels par l'orthodontiste : les enjeux d'une nouvelle interface. Mémoire : Diplôme d'Etudes Supérieures : Mention Orthopédie Dentofaciale : Bordeaux : 2016.

Collège des Sciences de la Santé

UFR des Sciences Odontologiques

Serment

En présence de mes Maîtres et de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de l'art dentaire.

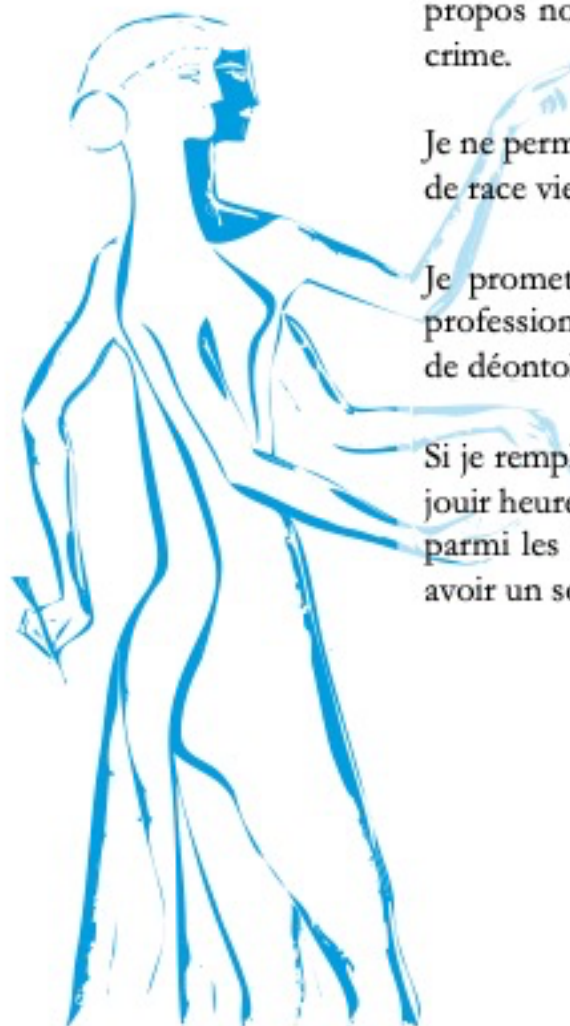
Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un honoraire au-dessus de mon travail. Ma langue taira les secrets qui me seront confiés. Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe.

Mes connaissances et mon état ne serviront ni à diffuser des propos non avérés, ni à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des conditions de croyance, de nation et de race viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je promets et je jure de conformer strictement ma conduite professionnelle aux principes et aux règles prescrites par le code de déontologie.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir heureusement de la vie et de ma profession, honoré à jamais parmi les hommes. Si je le viole et que je me parjure, puissé-je avoir un sort contraire.



Vu, Le Président du Jury,

Date, Signature :

Vu, la Directrice de l'UFR des Sciences Odontologiques,

Date, Signature :

Vu, le Président de l'Université de Bordeaux,

Date, Signature :

<p>Camille MENGELLE Le 30.08.2021</p> <p>Thèse pour l'obtention du DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR en CHIRURGIE DENTAIRE 2021 - n°46</p>
<p>Discipline : Orthopédie Dento-faciale</p>
<p>Description de l'usage des empreintes numériques dans la pratique de l'orthodontie en France</p>
<p>Résumé</p> <p>Avec l'essor du numérique dans le domaine de l'orthodontie, l'utilisation de l'empreinte optique s'est multipliée dans les cabinets français. Cependant, en l'absence d'étude réalisée sur ce sujet, la fréquence d'utilisation de cette technologie pour le diagnostic et l'analyse des modèles d'étude reste inconnue. Au cours de ce travail, une synthèse des connaissances sur la réalisation d'empreintes numériques et leur utilisation en pratique courante sera proposée. La création et la diffusion d'un questionnaire ayant pour objectif la description de leur usage par les orthodontistes français est détaillée. Cette étude transversale descriptive, réalisée à l'échelle nationale, se présente sous la forme d'un questionnaire en ligne diffusé via le logiciel LimeSurvey® et destiné aux praticiens exerçant l'orthodontie en France. Parmi les 221 questionnaires complets analysés, 186 (84%) participants ont déclaré être équipés en matériel d'empreintes numériques (caméra optique, scanner de modèles ou scanner d'empreintes) et 85% d'entre eux l'utilisent pour la réalisation de l'intégralité de leurs diagnostics et plans de traitement, soit 71,5% de la population totale de praticiens interrogés. Des études plus approfondies comparant la qualité des diagnostics et des prises de décision sur modèles physiques et virtuels sont à envisager. Elles permettront de faire évoluer les pratiques d'apprentissage et conférer aux praticiens la possibilité d'être aussi efficaces quel que soit le support utilisé.</p>
<p>Mots clés</p> <p>Orthodontistes, pratiques professionnelles, modèles numériques, enquêtes et questionnaires, prise de décision</p>
<p>Summary</p> <p>The digital revolution that has occurred recently in orthodontics, has led to widespread use of digital impressions in French orthodontic offices. No survey has ever been conducted to estimate the prevalence of digital casts use for the diagnosis and treatment. In the first place this work intends to present a review of progress in digital impression technologies and their use in current practice. In the second place, the creation and distribution of a survey aimed at to describe the use of digital impressions by French orthodontists is detailed. This descriptive cross-sectional study, carried out at the national level, among professionals practicing orthodontics in France, is presented through a LimeSurvey® questionnaire accessible online. Among the 221 complete questionnaires collected, 186 (84%) participants declared to be equipped with digital impressions equipment (optical camera, model scanner or impressions scanner) at their main place of exercise and 85% of them use exclusively digital casts, both for diagnosis and treatment, or 71.5% of the total population of practitioners surveyed. More studies comparing the quality of diagnostics and decision-making on physical or virtual models should be considered in order to make practices evolve and enable practitioners to be efficient regardless of the medium used.</p>
<p>Key-words</p> <p>Orthodontists, Professional Practice, Digital dental models, Surveys and Questionnaires, Decision making</p>
<p>Université de Bordeaux – Collège Santé</p> <p>146 rue Léo Saignat</p> <p>33076 Bordeaux</p>