

UNIVERSITÉ TOULOUSE III - PAUL SABATIER

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNÉE 2020

Thèse n° : 2020 3006

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

Thibault GUTHMANN DALMAY

Le 28 janvier 2020

UTILISATION DE LA CFAO EN ODONTOLOGIE CANINE

Directeur de thèse : Dr Karim Nasr

JURY :

Président : Professeur Philippe POMAR

1^{er} assesseur : Docteur Rémi ESCLASSAN

2^{ème} assesseur : Docteur Karim NASR

3^{ème} assesseur : Docteur Michel KNAFO



Faculté de Chirurgie Dentaire

➔ DIRECTION

DOYEN

Mr Philippe POMAR

ASSESEUR DU DOYEN

Mme Sabine JONOT

CHARGÉS DE MISSION

Mr Karim NASR (*Innovation Pédagogique*)
Mr Olivier HAMEL (*Maillage Territorial*)
Mr Franck DIEMER (*Formation Continue*)
Mr Philippe KEMOUN (*Stratégie Immobilière*)
Mr Paul MONSARRAT (*Intelligence Artificielle*)

PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme Cathy NABET

RESPONSABLE ADMINISTRATIF

Mme Muriel VERDAGUER

➔ PERSONNEL ENSEIGNANT

➔ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES

Mr Jean LAGARRIGUE +
Mr Jean-Philippe LODTER +
Mr Gérard PALOUDIER
Mr Michel SIXOU
Mr Henri SOULET

➔ ÉMÉRITAT

Mr Damien DURAN
Mme Geneviève GRÉGOIRE
Mr Gérard PALOUDIER

Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

56.01 ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE et ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE (Mme BAILLEUL-FORESTIER)

ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

Professeurs d'Université : Mme BAILLEUL-FORESTIER, Mr. VAYSSE
Maîtres de Conférences : Mme NOIRRIT-ESCLASSAN, Mme VALERA, Mr. MARTY
Assistants : Mme BROUTIN, Mme GUY-VERGER
Adjoint d'Enseignement : Mr. DOMINE, Mme BROUTIN, Mr. BENETAH

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : Mr BARON, Mme LODTER, Mme MARCHAL, Mr. ROTENBERG,
Assistants : Mme ARAGON, Mme DIVOL,

56.02 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE (Mme NABET)

Professeurs d'Université : Mr. SIXOU, Mme NABET, Mr. HAMEL
Maître de Conférences : Mr. VERGNES,
Assistant : Mr. ROSENZWEIG,
Adjoints d'Enseignement : Mr. DURAND, Mlle. BARON, Mr LAGARD, Mme FOURNIER

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE (Mr. COURTOIS)

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences : Mr. BARTHET, Mme DALICIEUX-LAURENCIN, Mme VINEL
Assistants : Mr. RIMBERT, Mme. THOMAS
Adjoints d'Enseignement : Mr. CALVO, Mr. LAFFORGUE, Mr. SANCIER, Mr. BARRE, Mme KADDECH

CHIRURGIE ORALE

Professeurs d'Université : Mme COUSTY,
Maîtres de Conférences : Mr. CAMPAN, Mr. COURTOIS,
Assistants : Mme COSTA-MENDES, Mr. BENAT,
Adjoints d'Enseignement : Mr. FAUXPOINT, Mr. L'HOMME, Mme LABADIE, Mr. RAYNALDI, Mr. SALEFRANQUE

BIOLOGIE ORALE

Professeur d'Université : Mr. KEMOUN
Maîtres de Conférences : Mr. POULET, Mr. BLASCO-BAQUE
Assistants : Mr. LEMAITRE, Mr. TRIGALOU, Mme. TIMOFEEVA, Mr. MINTY
Adjoints d'Enseignement : Mr. PUISSOCHET, Mr. FRANC, Mr. BARRAGUE

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale

58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX (Mr ARMAND)

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

Professeur d'Université : Mr. DIEMER
Maîtres de Conférences : Mr. GUIGNES, Mme GURGEL-GEORGELIN, Mme MARET-COMTESSE
Assistants : Mme. RAPP, Mme PECQUEUR, Mr. DUCASSE, Mr. FISSE, Mr. GAILLAC,
Assistant Associé : Mme BEN REJEB,
Adjoints d'Enseignement : Mr. BALGUERIE, Mr. MALLET, Mr. HAMDAN

PROTHÈSES

Professeurs d'Université : Mr. ARMAND, Mr. POMAR
Maîtres de Conférences : Mr. CHAMPION, Mr. ESCLASSAN, Mr. DESTRUHAUT
Assistants : Mr. EMONET-DENAND, Mr. LEMAGNER, Mr. HENNEQUIN, Mr. CHAMPION, Mme. DE BATAILLE
Adjoints d'Enseignement : Mr. FLORENTIN, Mr. GALIBOURG, Mr. GHRENASSIA, Mme. LACOSTE-FERRE,
Mr. GINESTE, Mr. LE GAC, Mr. GAYRARD, Mr. COMBADAZOU, Mr. ARCAUTE, Mr. SOLYOM,
Mr. KNAFO, Mr. HEGO DEVEZA

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Maîtres de Conférences : Mme JONJOT, Mr. NASR, Mr. MONSARRAT
Assistants : Mr. CANCEILL, Mr. OSTROWSKI, Mr. DELRIEU,
Adjoints d'Enseignement : Mr. AHMED, Mme MAGNE, Mr. VERGÉ, Mme BOUSQUET

Mise à jour pour le 07 Octobre 2019

Remerciements

A ma famille,

A ma mère, merci de m'avoir tant aimé et tant appris, d'avoir toujours été là à chaque instant, d'avoir su éveiller toute ma curiosité et le goût des études sans lequel je ne serais pas ici aujourd'hui. A mon père, avec qui j'ai partagé tellement de choses, merci de m'avoir ouvert la voie du monde médical et de toujours avoir été présent. Merci à vous pour tout l'amour que vous me portez, vous êtes les meilleurs des parents.

A ma sœur Claire, merci pour ces super années de colocation que nous avons passées ensemble, merci de m'avoir soutenu (et réussi à me supporter) pendant ces difficiles années de concours.

A ma sœur Laure, merci de toujours avoir été là pour moi, pour ta générosité, et nos années de lycée que nous avons passées ensemble et qui me sont inoubliables, merci également à Antoine pour son amitié et la place que tu as su prendre dans cette grande famille.

A mon frère Gauthier, merci pour ces années que nous avons passées ensemble à Toulouse et pour ces précieux instants que nous avons partagé.

A tous mes frères et sœurs pour la merveilleuse enfance que nous avons passée ensemble, pour tous ces bons moments qui sont gravés à jamais dans ma mémoire et pour tous les autres que nous vivons ensemble.

A oncle Éric et tante Eve, merci pour ces week-ends chaleureux que j'ai passés chez vous, c'était de petites vacances au milieu de ces premières années étouffantes de travail.

A Bon-papa et Dominique, pour leurs constants encouragements et toute leur affection.

A mes amis,

Olivier, mon binôme de choc, à tous les bons moments que nous avons eus en clinique et surtout en dehors. Merci pour ces super années, ton amitié m'est précieuse.

Merci aussi à Lucie, Guillaume, Clémence, Vincent, Benjamin, Pierre, Paul, Marie, merci à tous pour tous les bons moments que nous avons passés ensemble.

Merci également à l'ensemble du corps enseignant, pour votre compétence et votre passion à nous transmettre votre savoir.

Merci à Benjamin Théron, pour son concours dans la réalisation de cette thèse.

Merci au Docteur Male pour son amabilité et sa disponibilité pour répondre à nos questions.

Et enfin une pensée pour mon chien Cacao, sans qui je n'aurais sans doute jamais eu l'idée de cette thèse.

A notre président du jury

Monsieur le Professeur **Philippe Pomar**,

- Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse,
- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Lauréat de l'Institut de Stomatologie et Chirurgie Maxillo-Faciale de la Salpêtrière,
- Habilitation à Diriger des Recherches (H.D.R.),
- Officier dans l'Ordre des Palmes Académiques
- Colonel de réserve citoyenne du service de santé des armées (CDC-RC)

Nous vous remercions d'avoir accepté de nous faire l'honneur de présider ce jury, veuillez trouver ici l'expression de notre sincère gratitude.

A notre jury,

Monsieur le Docteur **Rémi Esclassan**,

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Habilitation à Diriger des Recherches (H.D.R.)
- Praticien Qualifié en Médecine Bucco-Dentaire (MBD)
- Docteur de l'Université de Toulouse (Anthropobiologie)
- D.E.A. d'Anthropobiologie
- Ancien Interne des Hôpitaux
- Chargé de cours aux Facultés de Médecine de Toulouse-Purpan, Toulouse-Rangueil et Pharmacie (L1)
- Enseignant-Chercheur au Laboratoire d'Anthropologie Moléculaire et Imagerie de Synthèse (AMIS – UMR 5288 – CNRS)
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Nous vous remercions d'avoir accepté de siéger dans notre jury. Nous vous remercions pour la qualité de vos enseignements et de la bienveillance dont vous avez fait preuve tout au long de notre parcours universitaire.

A notre directeur de thèse,

Monsieur le Docteur **Karim Nasr**,

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire, - Lauréat de l'Université Paul Sabatier,
- Master 1 mention Biotechnologie-Biostatistiques,
- Master 2 Recherche en Science des Matériaux,
- Certificat d'Etudes Supérieures de technologie des matériaux employés en Art Dentaire,
- Certificat d'Etudes Supérieures de prothèse Dentaire (Option prothèse Scellée)
- Responsable du domaine d'enseignement Imagerie et Numérique,
- Responsable de l'Attestation d'Etudes Universitaires d'Imagerie MaxilloFaciale (CBCT),
- Responsable du Diplôme Universitaire de CFAO en Odontologie,
- Chargé de mission à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse,

Nous vous remercions d'avoir accepté la direction de ce travail. Merci pour votre disponibilité malgré vos nombreux engagements. Nous sommes tout particulièrement reconnaissant pour vos constants efforts au cours de notre cursus à nous faire découvrir avec passion les dernières innovations de notre discipline.

A notre jury,

Monsieur le Docteur **Michel Knafo**,

- Ancien-Assistant hospitalo-universitaire d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- CES d'Odontologie Prothétique, mention : Prothèse conjointe,
- CES d'Odontologie Prothétique, mention : Prothèse Maxillo-Faciale,
- DU de Réhabilitation des Maxillaires

Nous vous remercions d'avoir accepté de siéger dans notre jury. Nous vous remercions tout particulièrement pour votre attention, votre encadrement et vos conseils au cours de nos années de clinique.

Table des matières

Introduction	14
1 – L’ODONTOLOGIE CANINE	15
1.1 Anatomie	15
1.1.1 Anatomie crânienne	15
1.1.1.1 Os incisif	16
1.1.1.2 Os maxillaire	16
1.1.1.3 Os palatin.....	17
1.1.1.4 Os mandibulaire	17
1.1.2 Cavité orale.....	18
1.1.2.1 Limites	18
1.1.2.1.1 Vestibule.....	18
1.1.2.1.2 Cavité orale proprement dite	19
1.1.2.2 Parodonte.....	19
1.1.2.3 Dentition.....	21
1.1.2.3.1 Structure.....	21
1.1.2.3.2 Dentition définitive.....	22
1.1.3 Occlusion	24
1.2 Pathologies fréquentes des dents.....	27
1.2.1 Pathologies d’origine traumatique.	27
1.2.2 Les fractures dentaires chez le chien	27
1.2.2.1 Symptômes.....	27
1.2.2.2 Prévalence	28
1.2.2.3 Classification.....	29
2 - LA CFAO EN ODONTOLOGIE	31
2.1 Généralités.....	31
2.1.1 Définition	31
2.1.2 Matériel	31
2.1.3 Applications	32
2.2 Techniques.....	32
2.2.1 Prise d’empreinte	32

2.2.2	Modélisation/CAO	33
2.2.2.1	Modélisation du modèle.....	33
2.2.2.2	Modélisation de la prothèse	34
2.2.3	FAO et usinage.....	34
2.2.3.1	Méthode soustractive.....	35
2.2.3.2	Méthode additive	35
2.2.3.2.1	Les procédés additifs sur réplique de moignon.	36
2.2.3.2.2	Les procédés additifs par formage libre de strates.....	36
2.2.4	La « chaîne numérique ».....	37
2.2.4.1	La méthode directe.....	37
2.2.4.2	La méthode semi-directe	38
2.2.4.3	La méthode indirecte.....	39
3	- LES RECONSTITUTIONS PROTHETIQUES DENTO-PORTEES EN ODONTOLOGIE CANINE	41
3.1	L'anesthésie chez le chien.....	41
3.1.1	Dispositif	41
3.1.2	Molécules	42
3.1.3	Limites	43
3.2	Cahier des charges des reconstitutions prothétiques dento-portées.	44
3.2.1	Objectifs.....	44
3.2.2	Contraintes liées à la spécificité de l'animal	44
3.3	Reconstitutions prothétiques, approche « classique » et approche « numérique »	45
3.3.1	Méthode classique.....	45
3.3.1.1	Evaluation.....	45
3.3.1.2	Préparation.....	45
3.3.1.3	Empreinte	46
3.3.1.4	Etapas de laboratoire	47
3.3.1.5	Pose	47
3.3.2	Méthode par CFAO	49
3.3.2.1	Présentation	49
3.3.2.2	Empreinte.....	52
3.3.2.3	Modèles numériques.....	56
3.3.2.4	Méthode directe.....	58
3.3.2.4.1	Modélisation de la prothèse.....	58

3.3.2.4.2 Usinage.....	60
3.3.2.5 Méthode semi-directe	63
3.4 Discussion	65
Conclusion.....	66
Bibliographie	68

Introduction

La CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) tend de plus en plus en plus à s'imposer dans nos pratiques. Nous constatons ici que la profession de chirurgien-dentiste suit la tendance plus générale de la société à la numérisation et à la dématérialisation des support (43). Cependant si la transformation numérique se caractérise par son exceptionnelle vitesse de diffusion, la technologie de la CFAO appliquée à l'odontologie fait ses premiers pas en 1974 avec la thèse de François Duret, « l'empreinte optique ». L'origine de CFAO ou CAD/CAM (computer aided desing/ computer aided manufacturing) en elle-même est encore antérieure et remonte au début des années 60 avec PRONTO, qui fut le premier programme de contrôle numérique commercialisé à destination de l'industrie et SKETCHPAD qui posa les bases du dessin technique informatisé (45).

Il apparait donc que la perméabilité des technologies d'un secteur d'activités à un autre demande un certain temps. Et si la CFAO en odontologie est appelée à devenir un outil incontournable à mesure de son perfectionnement et de sa démocratisation, la pénétration de ces pratiques au sein de disciplines proches, comme l'odontologie vétérinaire, reste timide, comme en atteste la rareté de la littérature scientifique sur le sujet.

C'est pourquoi nous proposons d'évaluer l'intérêt de l'application de la CFAO à cette discipline, ainsi que l'adaptabilité des solutions techniques conçues pour l'humain vers un modèle animal choisi, à savoir le chien.

Pour cela nous définirons notre espace de travail en abordant l'anatomie canine et les pathologies l'affectant, susceptibles de bénéficier de la CFAO pour leur traitement. Nous détaillerons ensuite les caractéristiques de la CFAO elle-même. Nous verrons enfin les spécificités des reconstitutions prothétiques chez l'animal et nous tenterons ensuite d'évaluer l'adaptabilité des outils de CFAO à l'odontologie canine au travers d'une reconstitution prothétique expérimentale, sur modèle animal. Nous discuterons pour finir des avantages, des écueils et des perspectives que semble présenter l'introduction de ces outils numériques à l'arsenal thérapeutique de l'odontologie vétérinaire.

1 – L'ODONTOLOGIE CANINE

Dans cette première partie, nous aborderons l'anatomie de la cavité buccale chez le chien, les principales pathologies l'affectant, avec une attention particulière portant sur les fractures dentaires.

Le chien domestique appartient à la classe des mammifères, de l'ordre *Carnivora*, famille *canidae*, genre *canis*, espèce *familiaris* selon la classification de Linné.

La famille des canidés connaît une grande polymorphie en son sein due à l'interfertilité entre ses différentes races, grandement accentuée par l'hybridation sélective par la main de l'Homme. Du fait de l'interfertilité entre les races, une physionomie de référence unique n'est pas utilisable pour décrire de nombreuses races particulières. Ces différences ne sont considérées comme des malformations que lorsque celles-ci sont extrêmes.

On définit comme race tout groupe d'animal qui dérive d'une population donnée et reproduite de manière sélective pour leurs caractéristiques ontologiques (1).

1.1 Anatomie

Nous nous attacherons à décrire une anatomie intermédiaire sans considération de race spécifique, centrée sur le massif facial de l'animal et particulièrement de la cavité buccale.

1.1.1 Anatomie crânienne (1)

Le crâne est divisé en deux massifs :

- Le massif crânien, qui entoure le cerveau.
- Le massif facial, qui englobe les systèmes digestif, oculaire et olfactif.

La région faciale est constituée de 21 os ménageant une large surface aux systèmes respiratoire, olfactif ainsi que pour l'implantation des dents. Il en résulte une forme générale allongée, à l'apex effilé et à la base large qui se fusionne au massif crânien.

Os de la face :

- Paires :
 - Incisif
 - Nasal
 - Maxillaire
 - Cornet dorsal
 - Cornet ventral
 - Zygomatique
 - Palatin
 - Lacrymal
 - Ptérygoïde
 - Mandibule
- Impaire :
 - Vomer

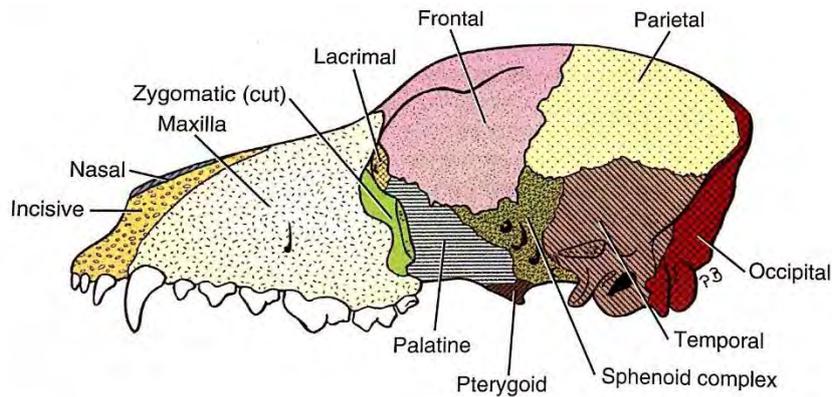


Figure 1, Vue latérale des os du crâne (1).

1.1.1.1 Os incisif

L'os incisif possède un corps de taille restreinte, il supporte le processus alvéolaire composé de trois alvéoles pour les trois incisives supérieures, ces alvéoles sont de taille croissante depuis la médiale vers la latérale.

Une concavité latérale sur la face caudale du processus forme la paroi cranio-latérale de l'alvéole canine.

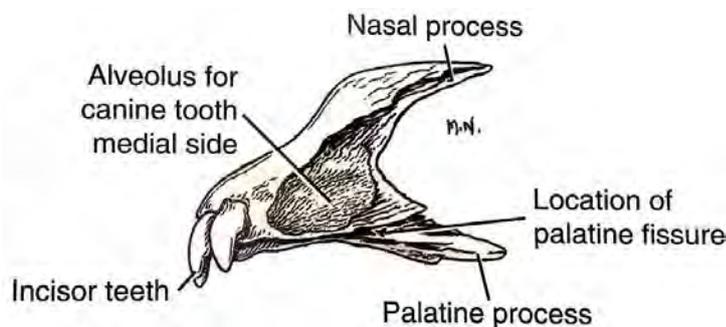


Figure 2, Os incisif gauche, vue latérale (1).

1.1.1.2 Os maxillaire

L'ensemble des os incisifs et maxillaires de chaque côté forme la mâchoire supérieure.

L'os maxillaire se divise en un corps et quatre processus : le frontal, le zygomatique, le palatin et l'alvéolaire. C'est l'os le plus imposant de la face qui supporte l'ensemble des dents de la joue supérieure.

La face ventrolatérale supporte le processus alvéolaire qui porte les dents. Les séparations entre les différentes dents sont assurées par les septa inter-alvéolaires, les septa séparant les racines d'une même dent sont appelées quant à eux septa inter-radicaux. Les légères élévations présentes sur la face ventrolatérale de l'os sont dues aux racines des dents et sont appelées juga alvéolaires (*juga alveolaris*), les juga les plus proéminentes correspondent à celle des racines de la canine et de la quatrième prémolaire supérieure.

Le processus alvéolaire comprend 15 alvéoles pour les racines des 7 dents qu'il accueille. Quand les dents sont éloignées les unes des autres, les espaces ainsi ménagés sont appelés espaces interdentaires. Ces espaces interdentaires sont retrouvés entre chacune des quatre prémolaires et en caudal de la canine.

Le processus palatin, représenté par une table osseuse transversale, forme avec son homologue controlatéral la majeure partie du palais dur et sépare le passage respiratoire du passage digestif.

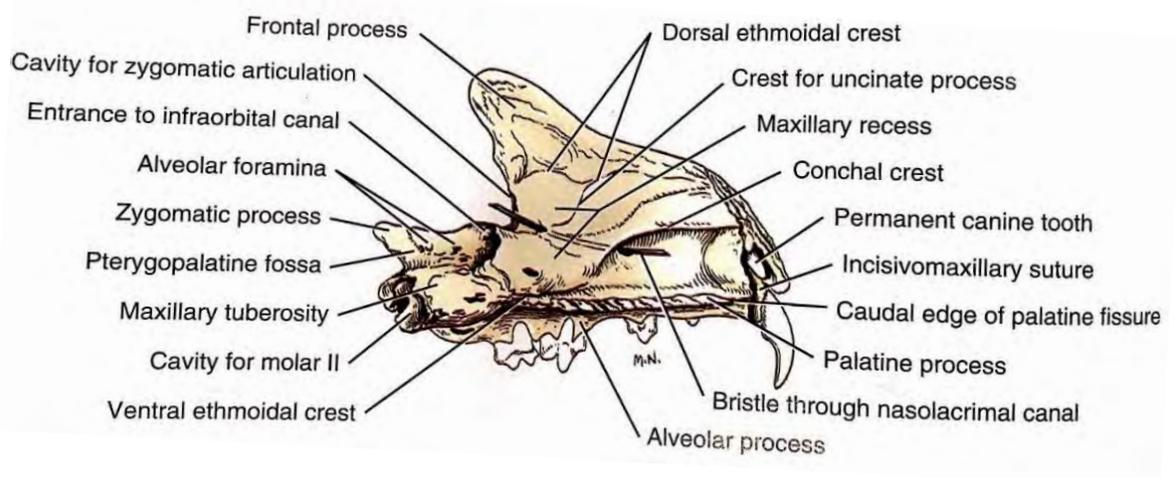


Figure 3, Os maxillaire, vue médiale (1).

1.1.1.3 Os palatin

Il est divisé en deux lames, l'une horizontale et l'autre verticale. Situé en médio-caudal du maxillaire, il forme la partie caudale du palais dur.

1.1.1.4 Os mandibulaire

La mâchoire inférieure du chien comprend les mandibules droite et gauche fermement unies par la suture inter-mandibulaire qui est un joint solide, fibreux, à la surface irrégulière. Ce joint permet un degré modéré de mouvement indépendant entre les deux mandibules. Chaque mandibule est divisée entre sa partie horizontale ou corps et verticale ou ramus.

Le corps de la mandibule peut être lui-même divisé en plusieurs parties, celle qui porte les incisives et celle qui porte les molaires. Les alvéoles indentent la bordure alvéolaire, elles sont unitaires pour les incisives, la canine ainsi que pour la première et dernière dent jugale. La première molaire possède deux alvéoles étant donné sa taille importante, la plus large de toutes. La partie libre de toute alvéole comprise entre la canine et la première prémolaire est appelé marge inter-alvéolaire.

Le plus large des foramens mentonniers, le foramen mentonnier médian, est localisé en regard du septum séparant les première et deuxième prémolaires. Un petit foramen ou plusieurs petits foramina sont présents caudalement au foramen médian.

La surface latérale du ramus est marquée par une dépression à trois parois, la fossette massétérique pour l'insertion du muscle masséter.

La surface médiale du ramus est légèrement marquée par l'insertion du muscle temporal. Directement en ventral de cette insertion, on retrouve le foramen mandibulaire s'ouvrant sur le canal mandibulaire contenant le nerf alvéolaire inférieur et son paquet vasculaire.

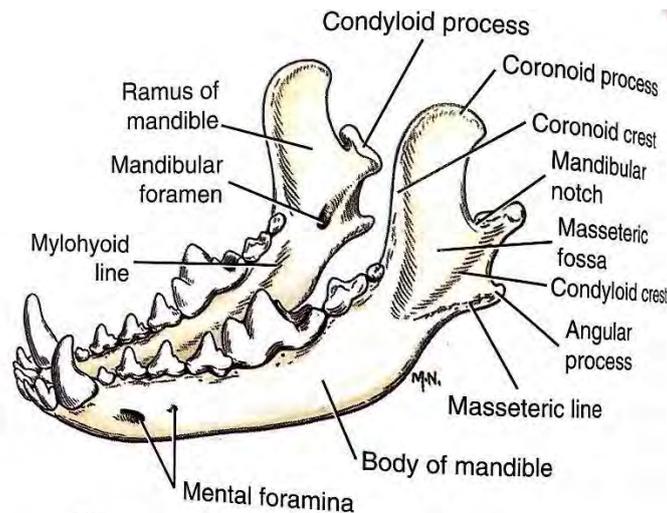


Figure 4, Os mandibulaires (1).

1.1.2 Cavité orale (1–3)

1.1.2.1 Limites

Le terme de bouche ne désigne exclusivement que l'ouverture entre les lèvres donnant dans le vestibule. La cavité orale est divisée entre le vestibule et la cavité orale proprement dite.

1.1.2.1.1 Vestibule

Le vestibule est l'espace compris entre l'arcade dentaire, les lèvres et les joues latéralement, il s'ouvre sur l'extérieur vers l'avant et sur la cavité orale en arrière.

Les lèvres limitent antérieurement et pour majeure partie latéralement le vestibule. Elles sont dépourvues de poils excepté les deux tiers antérieurs de la lèvre supérieure de chaque côté. Les lèvres vont en s'épaississant vers les angles de la bouche pour former un bord arrondi mesurant jusqu'à 1 cm.

Les lèvres ne sont pas utilisées comme organes préhensiles comme chez de nombreuses espèces mais les différents muscles les animant permettent l'expression des émotions comme la peur ou la colère.

Les joues forment la portion caudale des limites latérales du vestibule, elles sont relativement petites en conséquence de la large ouverture buccale. Contrairement aux herbivores où les joues ont une fonction de stockage de nourriture, notamment durant la mastication et le transport, cette fonction est mineure chez le chien. La muqueuse des lèvres et des joues est constituée d'un épithélium stratifié finement kératinisé, il peut être pigmenté pour tout ou partie selon la race.

1.1.2.1.2 Cavité orale proprement dite

Elle est limitée :

- En dorsal par le palais dur et une partie du palais mou,
- En latéral et antérieur par les arcades dentaires,
- Le plancher est constitué par la langue et la muqueuse réfléchie ventrale et latérale,
- Postérieurement par l'isthme du gosier et l'oropharynx.

Au niveau du plancher, en antérieur du corps de la langue s'abouche les canaux drainant les glandes sublinguales et mandibulaires par les caroncules sublinguales. S'étendant à partir de ces caroncules, de chaque côté du frein de la langue, la crête sublinguale, est constituée de muqueuse d'environ 2 mm de large pour 1 mm de haut.

1.1.2.2 Parodonte

C'est l'ensemble des tissus d'attache et de soutien de la dent. Il se compose de la gencive, du ligament ou desmodonte, du cément et de l'os alvéolaire. Sa structure est similaire à celle de l'être humain :

- **La gencive** recouvre l'os alvéolaire, c'est une fibromuqueuse recouverte d'un épithélium pavimenteux stratifié kératinisé. Elle se décompose en deux parties, la gencive libre qui borde le sulcus dentaire et la gencive attachée, reliée au cément et à l'os alvéolaire. La gencive est séparée de la muqueuse alvéolaire par la ligne mucogingivale. Le sulcus dentaire a une profondeur de 1 à 3mm chez le chien et il est tapissé sur sa face interne par l'épithélium sulculaire non-kératinisé. Au fond du sulcus, nous trouvons l'épithélium jonctionnel qui s'attache à la surface de la dent par des hémidesmosomes, formant l'attache épithéliale.
- Le **desmodonte**, il joue plusieurs rôles, de fixation de la dent tout d'abord, d'amortisseur de mouvements dentaires, il intervient également dans les mécanismes sensoriels par sa riche innervation et dans les mécanismes d'apposition/résorption du cément. Il est large de 100 à 150 microns.

- **Le cément**, tissu recouvrant la surface externe des racines, il se compose d'un cément cellulaire et d'un cément acellulaire. Le cément cellulaire lui confère des propriétés de résorption et de réparation.
- **L'os alvéolaire**, il est la partie du maxillaire ou de la mandibule qui forme et supporte les alvéoles dentaires, les processus alvéolaires se forment en même temps que le développement et l'éruption dentaire. Il est résorbé graduellement lorsque la dent est perdue.

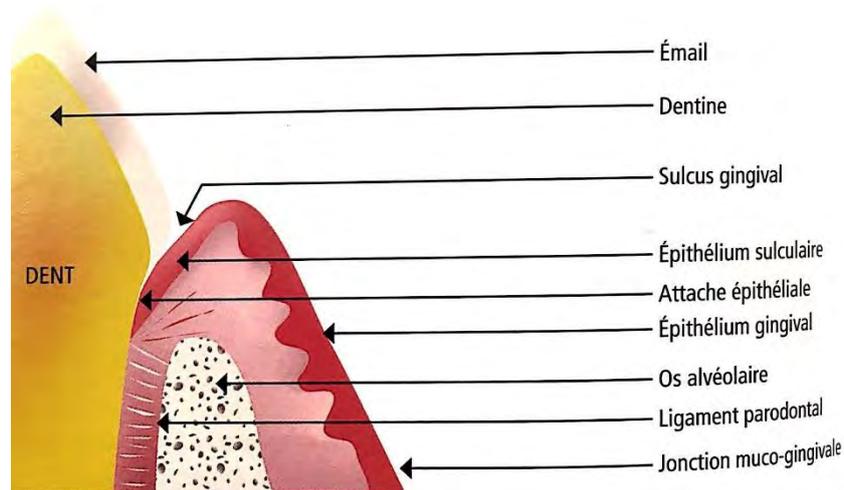


Figure 5, Schéma anatomique du parodonte (2).

1.1.2.3 Dentition

Le chien est un animal hétérodonte, il possède des dents de formes et de fonctions différentes. Il naît sans dents, puis deux générations de dents se succèdent, c'est donc aussi un animal diphyodonte.

1.1.2.3.1 Structure

La structure de l'organe dentaire chez le chien, outre sa morphologie, est semblable à celle de l'espèce humaine. La dent est donc divisée en deux parties, la couronne et la racine avec pour délimitation la ligne amélo-cémentaire, chacune constituée de plusieurs tissus :

- **L'émail**, qui est de faible épaisseur chez le chien (0,1 à 1mm),
- **La dentine**
- **La pulpe dentaire**

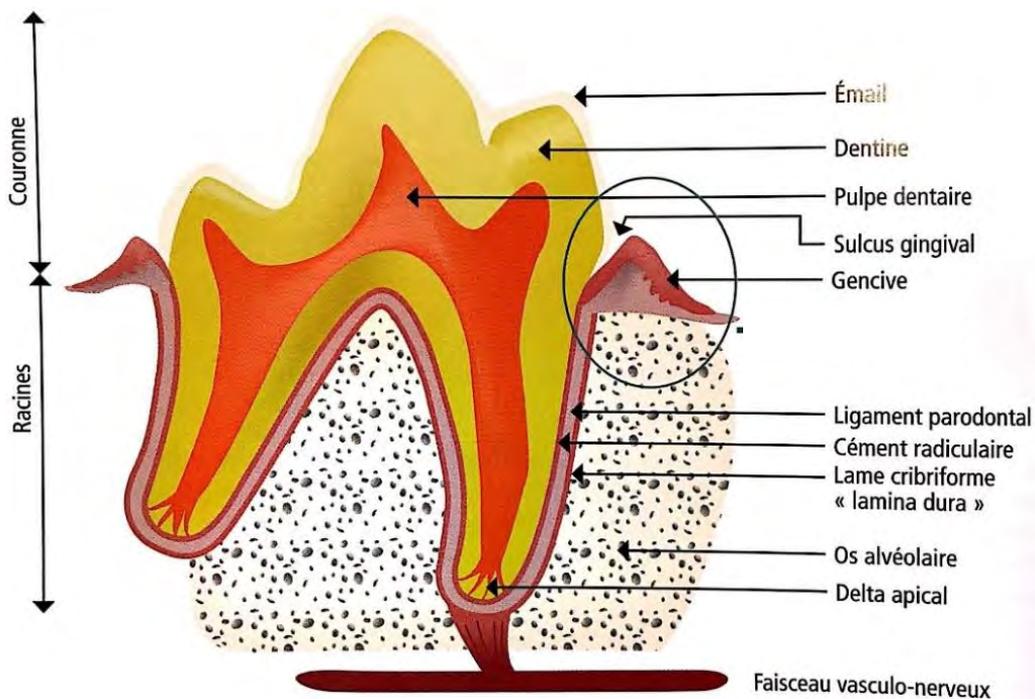


Figure 6, Schéma de la structure dentaire de la 1^{ère} molaire chez le chien (2).

1.1.2.3.2 Dentition définitive

La dentition définitive chez le chien se compose de 42 dents. On utilise le système de Triadan modifié pour leur nomenclature. Chaque dent est désignée par un code à 3 chiffres ; la cavité buccale est divisée en 4 quadrants ; le premier chiffre désigne le quadrant et les deux suivants le rang de la dent dans le sens cranio-caudal (de mésial à distal).

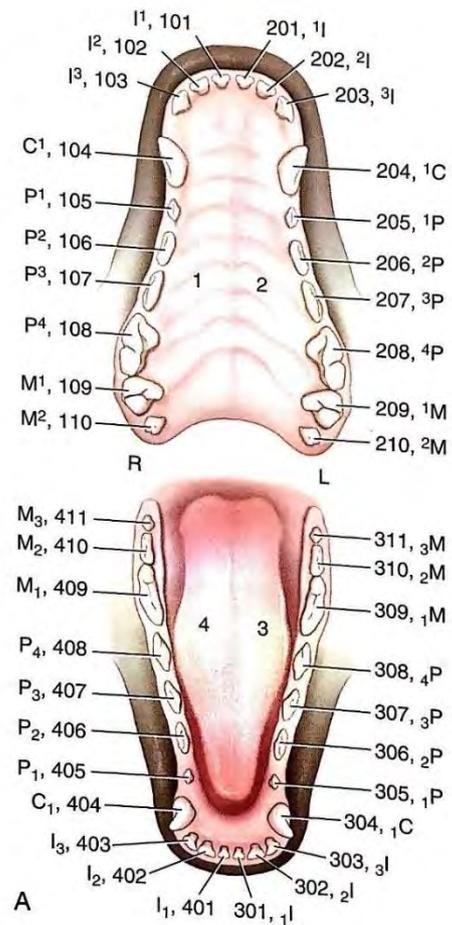


Figure 7, Le système Triadan modifié (1).

Dents	Maxillaires (par côté)	Mandibulaires (par côté)
Incisives	3	3
Canines	1	1
Prémolaires	4	4
Molaires	2	3

Figure 8, numération dentaire définitive chez le chien

- **Les incisives** : elles sont nommées (en partant du centre) : pince, mitoyenne et coin. Elles sont plus volumineuses au maxillaire qu'à la mandibule. Préhensiles et coupantes, elles n'ont qu'une seule racine. Adaptées au régime carnassier, leur fonction couvre aussi le toilettage et les interactions sociales (mordillements, préhension...). Elles sont légèrement arquées vers l'arrière et aplaties dans leur axe latéral. Leur taille augmente depuis l'incisive centrale vers l'incisive latérale. L'incisive latérale présente une conformation proche de la canine quoique de taille plus restreinte. Les incisives pinces et mitoyennes maxillaires possèdent chacune trois tubercules sur leur face linguale formant le cingulum.
- **Les canines**, coniques et lacérantes, elles ne possèdent qu'une seule racine. Elles sont utilisées pour perforer et remplissent également une fonction de préhension. Les canines supérieures sont séparées des incisives par un espace interdentaire de 4 à 10mm et les canines inférieures par un espace de 1 à 3 mm. Ce sont les dents possédant la plus grande racine, presque deux fois la taille de leurs couronnes. Les quatre canines sont de taille et d'aspect semblables, aplaties dans le sens latéral et présentant une section ovale. On peut noter un dimorphisme sexuel au niveau de ces dents, celles des mâles présentant une couronne et racine plus imposante.
- **Les prémolaires**, elles possèdent une à trois racines, les premières prémolaires n'en possèdent qu'une et les quatrièmes en possèdent trois. Les trois premières prémolaires sont de forme pyramidale, la 2^e et la 3^e présentent un tubercule additionnel par rapport à la première. La quatrième prémolaire est la plus imposante de toutes, elle possède trois racines divergentes, mésiovestibulaire, mésiolinguale et distale.
- **Les molaires** ou tuberculeuses. Dans chaque quadrant la plus imposante est la première, puis leur taille va décroissante. Ce sont les seules dents chez le chien présentant une surface occlusale triturante. Elles sont multituberculées et présentent deux niveaux, en vestibulaire avec des tubercules aigus et élevés, et en lingual des tubercules irréguliers et aplatés. La partie mésiale de la dent est donc adaptée à la dilacération quand la partie distale remplit une fonction de broyage. Chaque molaire supérieure possède trois racines légèrement divergentes, la linguale étant toujours la plus massive.

La denture des carnivores présente des dents caractéristiques, les carnassières, ce sont toujours les 4^e prémolaires maxillaires et les premières molaires mandibulaires chez le chien. Ce sont les dents les plus volumineuses de chaque arcade.

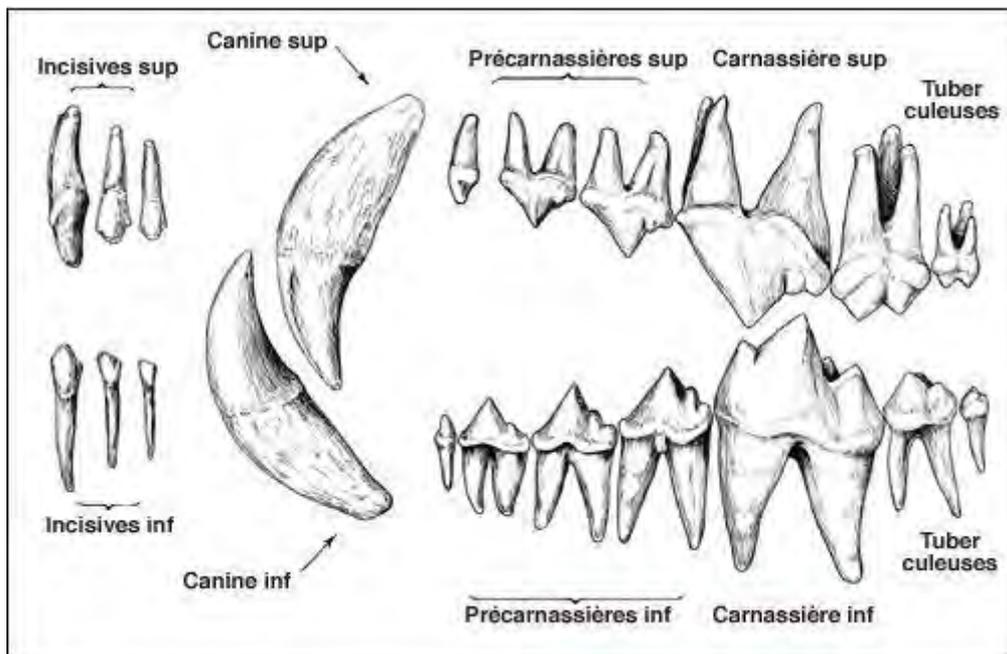


Figure 9, Anatomie dentaire du chien, d'après R.Barone (3).

1.1.3 Occlusion (1,2,5-7)

L'occlusion dentaire est la relation existante entre les dents de l'arcade maxillaire et de l'arcade mandibulaire. Chez le chien, cette relation est appelée *le mordant*. Elle est caractérisée par une anisognathie, à savoir que la mandibule est légèrement plus petite que le maxillaire.

Lorsque l'on étudie l'occlusion chez le chien, il faut distinguer différents types faciaux, caractérisés par leur indice céphalique :

- Les **dolichocéphales**, à museau long et étroit (Lévrier, colley...)
- Les **mésocéphales**, à museau de longueur et de largeur moyenne (Épagneuls, braques, bergers...)
- **Brachycéphales**, à museau court et étroit, avec parfois des mandibules dépassant le maxillaire (Boxers, bulldogs...)

Comme les types faciaux peuvent grandement impacter l'occlusion, en particulier pour la brachycéphalie, l'occlusion normale est plus facilement décrite pour les animaux mésocéphales.

- **Les incisives** sont réparties de façon homogène en arc de cercle dont le rayon tend à être faible chez les dolichocéphales et grand chez les brachycéphales. Les incisives maxillaires recouvrent les incisives mandibulaires en contact étroit où la cuspidé mandibulaire repose sur le cingulum des incisives maxillaires. Selon les races, les incisives sont implantées perpendiculairement (d'équerre) à l'axe horizontal des mâchoires ou bien légèrement inclinées crânialement (inclinaison vestibulaire). Cette inclinaison est plus marquée dans les races à tendance dolichocéphales. On retrouve une coïncidence des milieux inter-incisifs maxillaire et mandibulaire déterminant une symétrie droite/gauche des arcades. Les pinces maxillaires et mandibulaires sont alignées dans le plan vertical, les pinces maxillaires recouvrant largement les pinces mandibulaires plus étroites. Les mitoyennes maxillaires sont à cheval sur les mitoyennes et coins mandibulaires. Les coins maxillaires, à la forme plus conique et plus courbée caudalement, ne recouvrent que partiellement les coins mandibulaires.

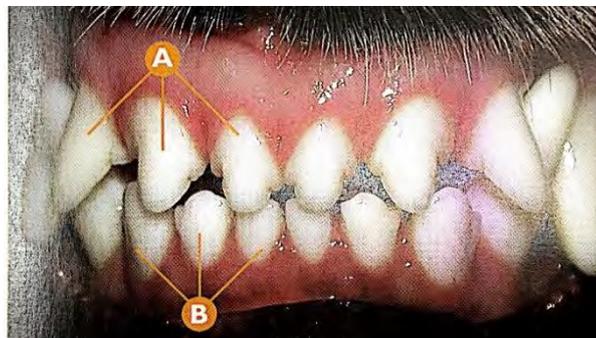


Figure 10, occlusion incisive. A: 101/102/103, B: 401/402/403 (5).

- **Les canines** sont séparées des coins par un espace interdentaire correspondant au volume des canines inférieures. Lors de l'occlusion, la canine inférieure occupe l'espace interdentaire situé entre les coins et canines maxillaires et la canine maxillaire occupe l'espace interdentaire situé entre la canine et la première prémolaire mandibulaire.

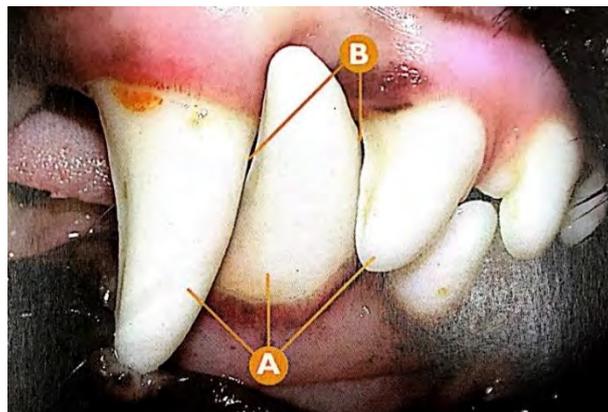


Figure 11, Occlusion des canines. A : de gauche à droite, 104, 404, 103 B : Occupation de l'espace interdentaire (5).

- **Les prémolaires** sont positionnées en quinconce dans le plan vertical. La première prémolaire mandibulaire est la plus mésiale de toutes, la pointe cuspidienne prémolaire maxillaire de rang n se place au milieu de l'espace interdentaire des prémolaires mandibulaires de rang n et n+1. Cependant, il n'existe pas de contacts occlusaux entre les prémolaires. Idéalement l'arcade prémolaire maxillaire est parallèle à l'arcade prémolaire mandibulaire.

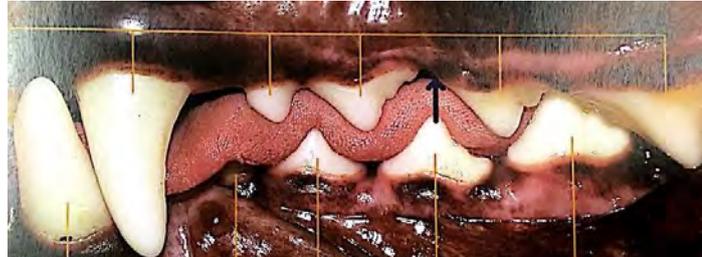


Figure 12, Occlusion prémolaire secteur 2 et 3 (5).

- **Les carnassières** : les carnassières maxillaires (prémolaires 4) et mandibulaires (molaire 1) présentent un articulé en ciseau dans le plan transverse, la carnassière maxillaire recouvre la plus grande partie la carnassière mandibulaire à l'exception de son talon distal.



Figure 13, Occlusion des carnassières secteur 1 et 4 (5).

- **Les molaires** : le talon lingual de la molaire 1 maxillaire est en occlusion avec le talon distal de la molaire 1 mandibulaire. Le talon lingual de la molaire 2 maxillaire est en occlusion avec le talon distal de la molaire 2 mandibulaire.

Les déterminismes génétiques régulant la taille des dents et la longueur des mâchoires étant indépendants, le caractère brachycéphale aboutit à un manque d'espace sur les arcades dentaires pour permettre une disposition harmonieuse de l'ensemble des dents. On aboutit donc à une dysharmonie dento-maxillaire conduisant à des rotations et des chevauchements, on parle d'encombrement dentaire.

Les forces masticatoires développées chez le chien sont élevées, en moyenne 300 N au niveau de la canine, pouvant aller jusqu'à 900 N selon la race et la méthode de calcul et 755 N en moyenne au niveau des carnassières pouvant aller jusqu'à 2036 N toujours selon la race et la méthode de calcul. Comparativement chez l'Homme on retrouve des forces masticatoires de l'ordre de 280 N.

1.2 Pathologies fréquentes des dents (2,5,8,9)

1.2.1 Pathologies d'origine traumatique.

Les lésions des tissus durs concerneront les fractures osseuses ainsi que les usures et fractures dentaires.

- Les **abrasions dentaires** sont le résultat d'une usure anormale et prématurée des dents contre une source extérieure (poils, pierres ou tout autre élément exogène).
- Les **attritions dentaires** sont, elles, dues à l'usure prématurée des dents entre elles, souvent associées à une malocclusion.



Figure 14, Attrition des incisives mandibulaires (10).

1.2.2 Les fractures dentaires chez le chien

1.2.2.1 Symptômes (4,11,12)

Bien que fréquentes, les fractures dentaires restent difficiles à diagnostiquer par la discrétion des symptômes et l'impossibilité de mise en place des tests d'expression subjective de la douleur tels que les tests de sensibilité au froid, au chaud ou de percussion. L'expression d'une douleur dentaire peut cependant se traduire chez le chien par une salivation excessive, un port de tête incliné ou un grattage, surtout après la prise alimentaire et plus généralement par une « timidité buccale » se traduisant par l'évitement de la sollicitation de la région buccale.

Certains signes sont cependant objectivement observables. Localement, lors de la phase aiguë, un saignement à l'extrémité libre d'un canal exposé par la fracture, une lymphadénomégalie régionale avec une légère hyperthermie ou une dysorexie pouvant aller jusqu'à l'anorexie, des colorations dentaires roses ou violettes. L'atteinte des tissus mous consécutive à la nécrose pulpaire peut également provoquer la survenue d'une fistule partant de l'apex de la dent concernée ou une cellulite résultant en une tuméfaction faciale.

1.2.2.2 Prévalence (11)

D'après une étude réalisée par I. Capík en 2000 portant sur 5 370 individus sur une période de 4 ans, parmi les 9 % (492) traités pour des pathologies dentaires, 28.3% (139) l'étaient pour des fractures dentaires, faisant de celles-ci la seconde pathologie la plus souvent représentée.

La prévalence des fractures selon le type de dent est représentée au tableau 1. Nous notons une localisation prédominante des traumatismes dans les secteurs antérieurs.

Tableau 1

Fractures	Nombre	Pourcentage
Incisives	39	25.9
Canines	54	38.8
Prémolaires (108, 208)	41	29.5
Autres prémolaires	5	3.6
Molaires (309, 409)	3	2.2

Capík et coll. 2000

L'auteur détaille également la répartition des fractures selon la taille de l'individu (tableau 2) et son âge (tableau 3).

Tableau 2

Dent	Grande taille	Taille moyenne et petite
Incisives	29	7
Canines	48	6
Prémolaires	26	20
Molaire	5	1
Totale	105 (75.5%)	34 (24.5%)

Capík et coll. 2000

On peut noter qu'une large majorité des fractures survenues le sont chez les individus de grande taille.

Tableau 3

Age	Incisives	Canines	Prémolaires (108, 208)
0-2 ans	24	24	13
3-4 ans	10	21	8
5-6 ans	2	6	9
7-8 ans	0	3	3
9-10 ans	0	0	4
11-13 ans	0	0	4
Total	36	54	41

Capík et coll. 2000

On remarque une forte prévalence chez l'animal jeune.

Toujours d'après Capík et coll., l'étiologie des fractures est diverse (tableau 4), cependant il est à noter qu'un nombre considérable de fractures passent inaperçues auprès des propriétaires.

Tableau 4

Etiologie de fracture de la canine

Cause	Nombre	Pourcentage
Traumatisme	8	14.81%
Jeu	13	24.04%
Dressage	13	24.07%
Troubles comportementaux	3	5.56%
Inconnue	17	31.48%

Capík et coll. 2000

1.2.2.3 Classification (2,4,5)

- **Les infractions** de l'émail sont des fractures incomplètes (fissures) de l'émail sans perte de substance dentaire. Elles ont peu d'expressions cliniques excepté que la surface est rugueuse et peut provoquer des lésions des tissus mous adjacents.
- **La fracture de l'émail**, fracture avec perte de substance dentaire au niveau de la couronne n'intéressant que l'émail.
- **La fracture non compliquée de la couronne**, fracture de la couronne (émail + dentine) sans exposition pulpaire. Elles peuvent avoir comme expression clinique une hypersensibilité dentinaire du fait de l'exposition des tubulis dentinaires. Lorsque l'agression pulpaire est limitée, les odontoblastes réagissent en produisant une dentine de réparation, incorporant souvent quelques éléments vasculaires lui donnant un aspect rosé ou brunâtre.
- **La fracture non compliquée de la couronne et de la racine**, fracture de la couronne (émail + dentine) et de la racine (cément + dentine) sans atteinte pulpaire.
- **La fracture compliquée de la couronne**, fracture de la couronne (émail + dentine) avec exposition pulpaire. Ce type de fracture s'accompagne d'une pulpite qui en absence de traitement conduira à la nécrose pulpaire, puis à la diffusion des bactéries au travers du delta apical dans le tissu péri-apical entraînant une lésion péri-apicale.
- **Les fractures compliquées de la couronne et de la racine**, fracture de la couronne (émail + dentine) et de la racine, avec exposition pulpaire, ce type de fracture s'accompagnera d'un risque accru de maladie parodontale par l'accumulation de plaque à l'endroit où la gencive est altérée du fait de la lésion.
- **Les fractures radiculaire**s, fractures intéressant uniquement la racine, nécessitent dans la grande majorité des cas l'avulsion de la dent concernée.

Conclusion

Le chien, à l'échelle du règne animal, est donc anatomiquement proche de l'Homme. Si l'on considère la structure dentaire uniquement, nous pouvons dire que le chien présente un conformation anatomique et morphologique proche de celle de l'humain. Cette caractéristique place d'ailleurs le chien comme modèle de choix dans l'étude de mécanismes physiopathologiques et de protocoles thérapeutiques in vivo à destination de l'Homme (44). Dans un raisonnement inverse, cette proximité peut également nous poser la question de la transposition de protocoles thérapeutiques, largement éprouvés chez l'Homme, vers l'animal pour le traitement de pathologies similaires.

2 - LA CFAO EN ODONTOLOGIE

2.1 Généralités

2.1.1 Définition (13–15)

La CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) ou CAD/CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing) est une technique issue de l'informatique et de l'industrie appliquée à l'odontologie qui permet entre autres la réalisation de prothèses dentaires. Elle se caractérise par un ensemble composé :

- D'un système de captage de l'information, pouvant être une caméra ou au sens plus large tout système permettant la digitalisation de l'information recueillie dans la bouche du patient.
- D'un système permettant le traitement et la création des données qui permettent la modélisation des informations recueillies, permettant par la suite la conception de la future prothèse ou la visualisation de propositions thérapeutiques.
- D'un système d'exécution permettant la fabrication des données issues de la modélisation.

On distingue donc deux entités, souvent associées mais pouvant être indépendantes l'une de l'autre, la CAO qui regroupe la numérisation des informations et la conception des pièces, et la FAO qui concerne la fabrication de ou des pièces ainsi conçues selon une technique de choix, par soustraction ou par addition.

2.1.2 Matériel (16,17)

Il se compose de plusieurs éléments : le dispositif d'empreinte optique, du support des logiciels de CAO et de FAO et du dispositif d'usinage.

L'empreinte optique est réalisée au moyen d'un scanner intraoral, dont les caractéristiques varient selon le fabricant et la stratégie d'enregistrement employée. La technologie employée influence directement le volume et la taille du dispositif.



Figure 15, Comparaison des tailles de différentes caméras d'empreintes optiques par rapport à une turbine dentaire. a) turbine, b) DWIO, c) Condor scan, d) CS3600, e) Omnicam, f) Trios 3.(16)

L'unité informatique, support des différents logiciels, se présente sous plusieurs formes selon les besoins et l'ergonomie souhaitée par le praticien. On trouve des systèmes fixes avec écran et poste informatiques proches du poste de travail ou des systèmes mobiles. Ces systèmes mobiles peuvent être déplacés d'un poste de travail à un autre, ils se présentent sous la forme de carts sur roulettes avec la caméra intégrée à celui-ci, ou de PC portables où la caméra est branchée via USB.

Les machines d'usinages permettant un processus entièrement automatisé de production des prothèses, varient selon les techniques employées (additives ou soustractives) et leur destinataire (laboratoire de prothèse ou cabinet). En cabinet, les usineuses sont de petite taille et ne permettent généralement d'usiner que des blocs de résine, composite ou céramique.

2.1.3 Applications (15,18)

La CFAO est utilisée à la fois en cabinet et laboratoire de prothèse pour la réalisation d'onlays, inlays, de facettes, couronnes, bridges et de piliers implantaires. Elle trouve également des applications en orthodontie.

La CFAO a été développée dans le but de produire des pièces prothétiques résistantes, esthétiques ainsi que de faciliter le processus de restauration, de le rendre plus rapide et plus précis.

2.2 Techniques

2.2.1 Prise d'empreinte (19)

Le but d'une empreinte optique est d'enregistrer avec la plus grande exactitude la géométrie d'un volume dans les trois sens de l'espace au moyen de la collecte de données informatiquement exploitables. Le format du fichier choisi est le .stl (*standard tessellation language*) déjà préexistant et largement utilisé dans de nombreux domaines industriels.

Le fichier .stl décrit la surface externe d'un objet par une trame de triangles définis par les coordonnées (x,y,z) de leurs sommets ainsi que leurs vecteurs normaux. Des variantes existent pour ajouter différentes informations tels que la couleur ou la texture.

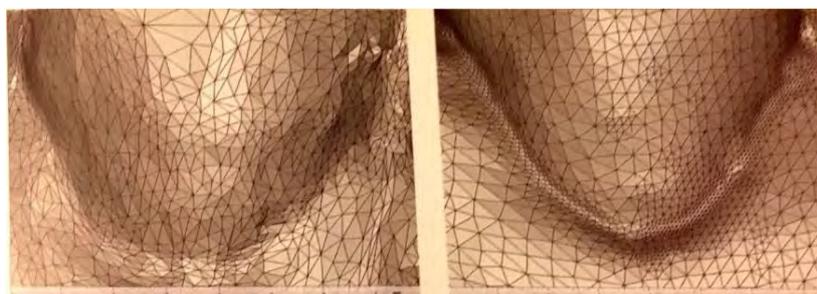


Figure 16. Trames acquises avec deux types de cameras différents(19)

Différentes méthodes d'acquisition de ce fichier .stl se sont succédées ou coexistent au gré des évolutions techniques et des fabricants.

La première technique d'enregistrement mise au point repose sur le principe de triangulation décrite par Thalès, la position d'un point est déterminable par la mesure des angles entre ce point et d'autres points de référence dont la position est connue et ceci plutôt que de mesurer directement la distance séparant ces points (*fig. 23.a*). Mais ce mode d'acquisition, jugé difficile, a poussé à la création de nouvelles méthodes dites « actives » fondées sur la projection d'un motif lumineux qui révèle la forme de l'objet scanné ou bien par l'utilisation des propriétés de point de focus d'une ou de plusieurs lentilles (*fig. 23.b*).

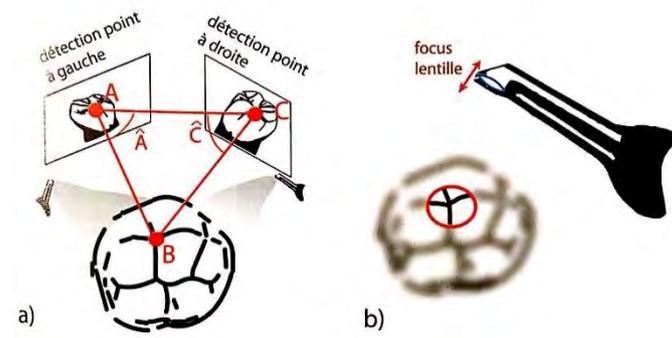


Figure 17. Différentes stratégies de capture : a) triangulation. b) confocal (19).

D'autres systèmes ont en revanche opté pour la capture vidéo générant un flux d'images permettant de créer un continuum plus précis, là où la photo permet de ne réaliser qu'un seul enregistrement avec un seul angle donné, la capture vidéo va permettre d'acquérir un nombre important de vues successives avec différentes angulations. Il faut cependant noter que l'accumulation d'images n'améliore pas forcément la qualité de la reconstruction finale, le logiciel de reconstruction risquant d'interpréter négativement certaines d'entre elles.

2.2.2 Modélisation/CAO

2.2.2.1 Modélisation du modèle (19)

Une fois le relevé en bouche effectué, la machine doit générer un modèle en 3D surfacique correspondant aux informations capturées. Pour cela, la machine définit des points d'intérêt sur chaque image et seuls ceux reconnus sur plusieurs images sont conservés pour la reconstruction 3D, c'est la méthode du *stitching*.

Un point d'intérêt est un point caractérisant fortement l'objet, par exemple au niveau de ses limites ou de zones de forte transition ou courbure. Ces points d'intérêt retrouvés sur plusieurs images sont conservés et des coordonnées x, y et z leur sont attribués.

D'autres méthodes existent comme celle du focus / défocus qui, au lieu de détecter les points d'intérêt similaires, détectent par exemple les zones de netteté similaires.

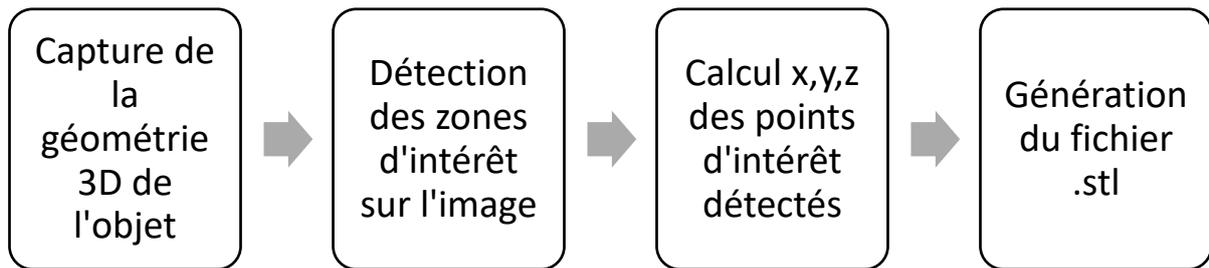


Figure 18. Les étapes de la génération d'un modèle numérique.

2.2.2.2 Modélisation de la prothèse (20,21)

Aujourd'hui les logiciels de CAO proposés par les fabricants disposent de banques de préformes qui vont-êre testées et adaptées en tenant compte de la morphologie des autres dents (proximales et antagonistes) du patient. La prothèse est ainsi positionnée et adaptée à la limite cervicale préalablement définie par l'opérateur.

L'opérateur peut ensuite modifier la proposition faite par le logiciel en jouant sur une large gamme de paramètres, que ce soit la morphologie de la prothèse, son épaisseur en tous points, l'espacement, la force des points de contacts aussi bien occlusaux que proximaux, etc.

L'opérateur peut donc influencer sur toutes les caractéristiques de la prothèse jusqu'à complètement redessiner la totalité de la proposition initiale en fonction de ses objectifs, connaissances, des particularités du cas clinique, des désirs du patient ou des impératifs liés à la machine d'usinage.

Le projet prothétique élaboré virtuellement, il faut le transposer physiquement dans un matériau de choix au moyen d'une machine de production par l'intermédiaire de la FAO.

2.2.3 FAO et usinage (17,21,22)

Ultimes étapes de la production de pièces prothétiques, elles consistent à transposer physiquement les prothèses conçues virtuellement dans un matériau de choix.

La fabrication assistée par ordinateur, ou FAO, est une composante essentielle de la chaîne numérique. Elle sert d'interface entre la CAO et la machine d'usinage. Le but de la FAO est de créer un fichier de commandes qui dirigera les mouvements de la machine-outil afin de réaliser la, ou les pièces prothétiques conçues par CAO. On exporte donc la modélisation réalisée vers le programme de FAO qui élabore les parcours d'outils et les stratégies d'usinage à mettre en œuvre. Les trajectoires déterminées seront ensuite enregistrées sous forme d'équations dans un programme ISO transmis à la machine-outil pour exécution.

2.2.3.1 Méthode soustractive

C'est le procédé le plus couramment utilisé dans la CFAO à usage dentaire. La pièce prothétique est obtenue par fraisage d'un bloc de matériau préfabriqué, de taille et de nature standardisées. Le choix de ce bloc est à la charge de l'opérateur qui le sélectionnera selon la prothèse à réaliser.

Il est à noter qu'aujourd'hui l'usinage est le seul processus de fabrication nous permettant de réaliser des pièces en zircone de manière automatisée.

On peut distinguer les différents types de machines d'usinage selon le nombre d'axes de déplacement et de rotation de leurs outils. On distinguera ainsi des machines proposant de 3 à 6 axes selon leur degré de complexité. Plus une machine dispose d'axes de mouvement pour ses outils, plus sa capacité à usiner des pièces complexes augmente.



Figure 19: Exemple de mouvements 5 axes sur une machine Everest de Kavo (17).

2.2.3.2 Méthode additive (17,22,23)

La méthode additive se base sur l'adjonction de matériau, il existe deux catégories de techniques qui se distinguent par leurs stratégies de mise en forme :

- Les procédés additifs sur réplique de moignon.
- Les procédés additifs par formage libre de strates.

Les systèmes additifs offrent l'avantage de pouvoir réaliser des pièces prothétiques à la géométrie complexe difficilement voire impossible à réaliser par fraisage. La consommation de matériau est par ailleurs plus économique et rationalisée que dans les méthodes soustractives. Ces stratégies de production seront cependant plutôt réservées aux laboratoires de prothèses seuls.

2.2.3.2.1 Les procédés additifs sur réplique de moignon.

Ces systèmes utilisent des répliques de moignons, appelées « carottes ». La dépose du matériau s'effectue ensuite sur cette carotte par électrophorèse dans le cas du système EPC 2019 de chez Wol-Dent ou par compactage sous haute pression de poudre d'alumine dans le système Procera AllCeram par exemple. Ces techniques permettent d'obtenir directement la pièce prothétique céramique (InCeram Alumina, InCeram Zirconia...).

2.2.3.2.2 Les procédés additifs par formage libre de strates.

La mise en forme des pièces prothétiques se fera par dépôt ou polymérisation de couches successives de matériau, superposées les unes aux autres, jusqu'à l'obtention de la pièce prothétique ou d'une réplique calcinable de celle-ci. Trois méthodes se distinguent :

- **L'impression 3D.** L'objet ou la série d'objets sont construits sur un plateau. Une tête d'impression se déplace sur le plan horizontal et projette de manière sélective le matériau pour construire chaque couche de la pièce. Pour réaliser une autre strate, le plateau descend de la valeur de l'épaisseur de la couche suivante, puis une nouvelle couche de matériau est déposée. On peut donc produire ainsi des répliques calcinables en cire ou en résine des pièces prothétiques voulues qui seront ensuite obtenue par des méthodes conventionnelles de laboratoire.
- **La stéréolithographie.** Le logiciel de FAO récupère le modèle numérique de la pièce prothétique et le découpe en strates et crée une image de chacune de ces strates. Une plateforme est ensuite plongée dans un bain de résine liquide photosensible et l'on projette successivement l'image de ces strates par DLP (Direct Light Projection) sur le bain. La résine est alors photo-polymérisée selon l'image projetée. A chaque image photo-polymérisée la plateforme descend de la valeur de la strate suivante et l'on projette l'image suivante et ce jusqu'à l'obtention de la pièce voulue. Comme dans le cas de l'impression 3D les pièces produites sont des répliques calcinables de la pièce prothétique qui devra ensuite être obtenue par des méthodes conventionnelles.
- **Le frittage sélectif par laser.** Il consiste à déposer sur une plaque support un lit de poudre métallique d'épaisseur de quelques dizaines de micromètres, puis un faisceau laser ou d'électrons, contrôlé par un système optique, vient chauffer les grains de poudre jusqu'à leur température de fonte. La poudre fondue est solidifiée rapidement formant des cordons de matière solides. A la fin de cette étape, le plateau support descend d'une épaisseur de couche et une nouvelle couche de poudre est déposée, puis le processus démarre à nouveau pour consolider une nouvelle strate de matière sur la précédente jusqu'à l'obtention de la pièce voulue. Cette technique est réservée à la fabrication exclusive d'éléments métalliques en cobalt-chrome (chapes de couronnes et bridges, armatures).

2.2.4 La « chaîne numérique » (2)

Le principe de travail au moyen des techniques de CFAO passe par deux notions distinctes mais complémentaires :

- La chaîne numérique, constituée d'un ensemble de maillons intégrés entre eux qui manipulent, traitent et échangent des données analogiques et numériques. Elle est constituée classiquement de trois maillons consécutifs que sont la numérisation, la CAO et la FAO.
- Le flux numérique, qui représente l'ensemble des données échangées entre les maillons.

2.2.4.1 La méthode directe

Dans le cadre de la méthode directe, l'ensemble de la chaîne numérique est implanté au cabinet.

Le praticien réalise donc l'enregistrement de la denture du patient au moyen du premier maillon, la caméra d'acquisition intra-orale. La génération du maître modèle numérique effectué, le praticien peut ensuite concevoir la prothèse au sein du second maillon de CAO. Une fois la conception effectuée, les tâches de FAO sont réalisées automatiquement sans intervention du praticien autre que le choix du bloc dans lequel sera réalisé le projet ainsi que le positionnement de celui-ci au sein du bloc. Les tâches de FAO réalisées, l'ensemble des données est automatiquement transféré au poste d'usinage qui constitue le quatrième maillon avec sa machine-outil à commande numérique.

Un des grands avantages de la méthode directe est que l'intégralité de la prothèse est réalisée au sein du cabinet avec une maîtrise du praticien sur tous les aspects de celle-ci et ouvre la possibilité de la réalisation et de la pose de la prothèse dans une même séance.

D'un point de vue logistique, cette technique demande un aménagement du cabinet pour accueillir l'ensemble des équipements constitutifs de la chaîne numérique.

Une des limites de la méthode directe vient de la limitation des logiciels de CAO et des outils de fabrication qui ne permettent pas la conception ni la fabrication de pièces plurales de grande étendue ; beaucoup de systèmes se limitent en effet à des pièces de 3 éléments au maximum. Les spécificités des machines-outils disponibles en cabinet ne permettent pas toujours au praticien d'accéder à certains matériaux spécifiques. Dans ces cas où l'on touche

aux limites de la méthode directe, le praticien se réserve la possibilité de se tourner vers les méthodes faisant appel au laboratoire.

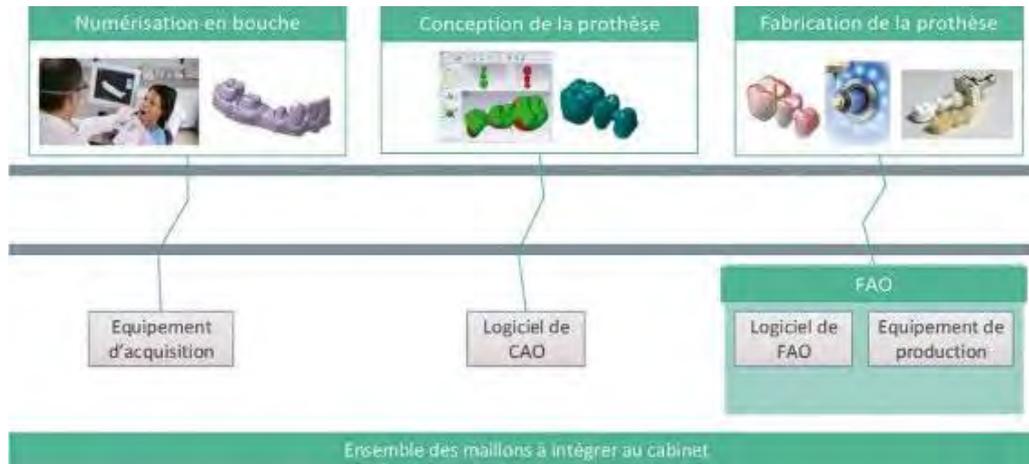


Figure 20, La chaîne de production directe (24).

2.2.4.2 La méthode semi-directe

Cette méthode établit un partage des tâches numériques entre le praticien et le laboratoire.

D'un côté, le cabinet accueille le dispositif de capture (caméra intra-orale) associé à son ordinateur équipé du logiciel de traitement de données, et d'autre part au laboratoire équipé du ou des logiciels nécessaires à la CAO, d'un poste de FAO et des machines d'usinage.

Le praticien réalise donc la numérisation de la denture du patient et génère un maître modèle virtuel qui est transmis au laboratoire qui réalise les tâches de conception de la prothèse par CAO puis assure sa fabrication par FAO.

Les avantages liés à cette technique résident dans la moindre réorganisation de l'espace de travail qu'avec une technique directe et une production beaucoup moins chronophage pour le praticien qu'en méthode directe du fait de la délégation des tâches de conception et de fabrication.

Cependant il est nécessaire de s'assurer de la compatibilité des systèmes informatiques entre le praticien et le laboratoire pour éviter toute altération des données envoyées entre le maillon de numérisation et de conception.

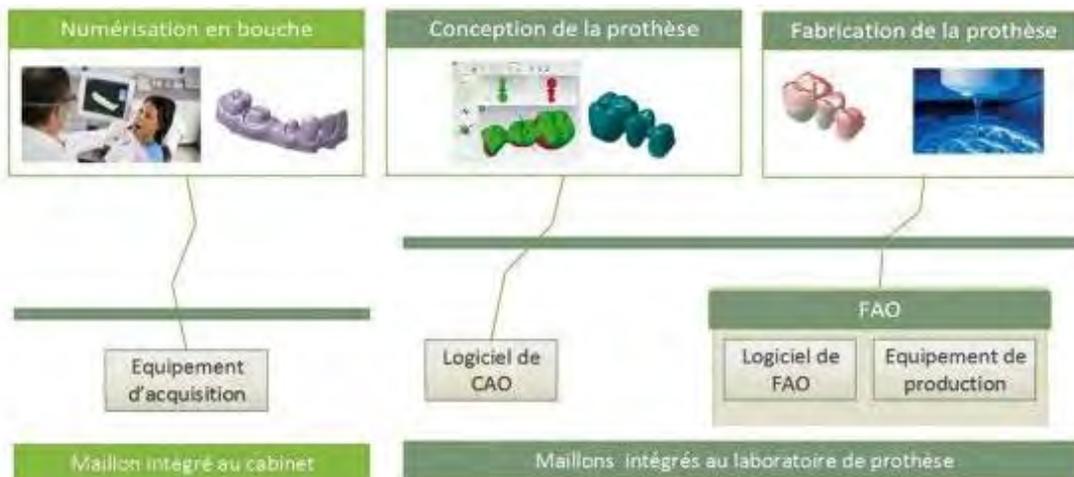


Figure 21, La chaîne de production « semi-directe » (24).

2.2.4.3 La méthode indirecte

Dans ce cadre, le cabinet n'accueille aucun équipement ou logiciel de CFAO. L'intégralité de la conception et de la production se déroule au laboratoire. Le praticien réalise donc exactement le même travail que lors d'une méthode conventionnelle.

Le praticien réalise donc les empreintes de manière classique avec portes empreintes et matériaux, ensuite envoyés au laboratoire qui mettra en œuvre la chaîne numérique intégralement, avec pour variation de scanner les modèles coulés au lieu de scanner directement en bouche la situation clinique.

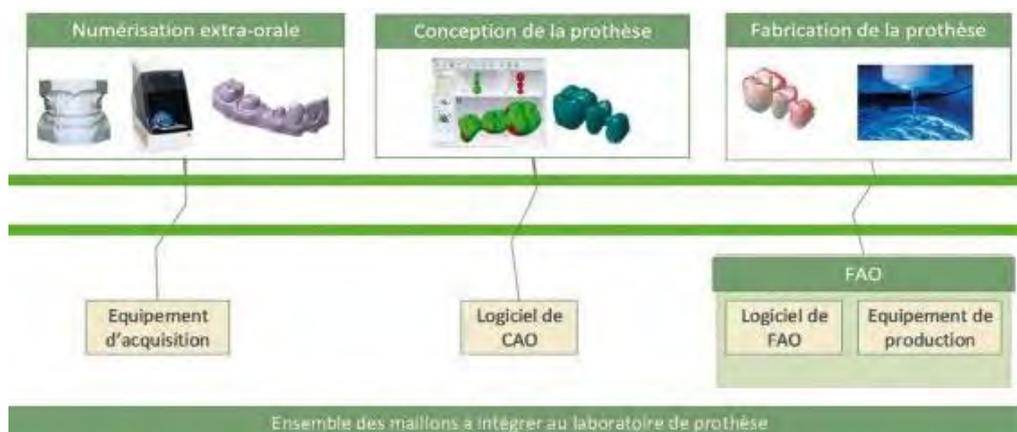


Figure 22, La chaîne de production indirecte (24).

Conclusion

Ainsi, la CFAO permet, par sa chaîne d'équipements intégrés entre eux, de générer et de traiter un flux de données permettant : l'enregistrement des supports, la conception et la fabrication de prothèses dentaires. Cette technologie a radicalement changé les pratiques au sein des cabinets dentaires, en offrant un gain tant au niveau technique par l'amélioration de la précision, de la régularité et de la rapidité d'exécution, qu'au niveau ergonomique avec un gain de confort aussi bien au niveau du patient qu'au niveau du praticien (16, 17).

3 - LES RECONSTITUTIONS PROTHETIQUES **DENTO-PORTEES EN ODONTOLOGIE CANINE**

On peut considérer qu'aujourd'hui les animaux et en particulier les chiens font partie intégrante de nos sociétés que ce soit comme animaux de compagnie ou de travail. Une large part des professionnels de la santé animale reconnaissent que l'odontostomatologie vétérinaire est essentielle au maintien de la bonne santé de l'animal (25).

3.1 L'anesthésie chez le chien (26,27)

Elle a pour but de placer l'animal dans les conditions optimales pour la réalisation de l'intervention tout en permettant que l'animal la tolère en limitant son stress et sa perception de la douleur. Elle est à la base de la contention chimique et constitue une alternative pertinente à la contention physique en limitant les réactions de défense des animaux.

L'anesthésie se définit comme un état réversible de dépression du système nerveux central, induit par l'administration d'un médicament et aboutissant à une perte de sensibilité et de réponse à des stimulations extérieures. Selon une approche plus disciplinaire, on peut également la considérer comme la discipline clinique en charge de la suppression de la perception douloureuse lors d'une intervention, également en charge du maintien de l'homéostasie lors de l'intervention. L'anesthésie est un processus réversible et contrôlé.

Différents types d'anesthésie peuvent être décrits selon leur modalité d'action : l'anesthésie locale, régionale ou générale. Lors de l'anesthésie générale, trois éléments vont être recherchés :

- Une perte de conscience.
- Une diminution voire une suppression des réflexes.
- Une analgésie

Aucune molécule ne permet à elle seule de valider ces trois paramètres, c'est pourquoi le protocole d'anesthésie fait appel à plusieurs molécules en association. A cette triade, se rajoute un quatrième aspect fondamental, la sécurité avec la recherche d'une moindre toxicité.

3.1.1 Dispositif

La pratique anesthésique se réalise au moyen d'équipements dédiés, selon la technique de choix employée. On retrouvera les dispositifs d'administration, de surveillance et d'assistance respiratoire.

Les dispositifs d'administration des molécules anesthésiques peuvent se faire par voie intraveineuse, requérant donc la pose d'une voie veineuse, elle pourra également servir à l'administration des prémédications et de molécules de réanimation. La pose d'une aiguille intra-osseuse est également possible lorsque la voie veineuse n'est pas disponible (animaux de petite taille). L'anesthésie peut également se réaliser au moyen d'une machine à anesthésie volatile, où un gaz vecteur (air enrichi à l'O₂ 40-70%) transporte l'anesthésique volatile, par le biais d'un circuit respiratoire connecté aux voies aériennes supérieures de l'animal, dans les poumons afin d'y être absorbé.

L'assistance respiratoire se fera au moyen d'une intubation endo-trachéale de l'animal pour assurer une administration facilitée et efficace en oxygène.

Les dispositifs de surveillance ont pour objectif de s'assurer de l'intégrité des fonctions vitales de l'animal et de la justesse de la profondeur de l'anesthésie. Ce monitoring fait appel à des signes cliniques et des signes instrumentaux, les uns étant complémentaires des autres.

3.1.2 Molécules

- **Les agents de prémédication**, leurs objectifs sont les suivants :
 - Diminuer le stress de l'animal et faciliter sa manipulation
 - Obtenir une induction et un réveil calme
 - Stabiliser l'anesthésie
 - Diminuer la dose d'anesthésique généraux
 - Analgésie préventive
 - Limiter les réactions indésirables du système nerveux autonome.

Les familles de molécules utilisées à cet effet sont principalement les phénothiazines, les benzodiazépines ou encore les morphiniques.

- **Les agents anesthésiques généraux**, ils ont comme objectif de satisfaire la triade de l'anesthésie. Il existe deux modalités d'anesthésie, injectable et volatile. Pour la voie injectable seront utilisés les barbituriques, kétamine, propofol et les dérivés stéroïdes avec l'alfaxolone. Concernant les anesthésiques volatiles, on trouvera principalement l'isoflurane et le sévoflurane.
- **Les anesthésiques locaux**, ils peuvent dans certains cas se substituer au besoin d'une anesthésie générale ou être utilisés en complément d'une anesthésie générale afin de mieux prendre en charge les douleurs per-opératoires. Ils présentent aussi l'avantage de diminuer le besoin global en anesthésiques et analgésiques systémiques, ils contribuent ainsi à la minimisation du risque anesthésique. Les solutions les plus utilisées sont la lidocaïne 2% et la bupivacaïne 0.5%. Ces solutions sont adrénalinées afin de prolonger le bloc par vasoconstriction.
- **Les agents bloquants neuromusculaires et la curarisation**. La myorelaxation recherchée peut être obtenue par différents moyens. En premier lieu par les agents

anesthésiques et myorelaxants centraux agissant par la diminution de l'activité cérébrale. Ils donnent une relaxation de bonne qualité souvent suffisante pour de nombreuses interventions. Les agents bloquants neuromusculaires, de la famille des curares, provoquent une relaxation intense en bloquant les transitions entre les fibres nerveuses motrices et les fibres musculaires. Ils agissent au niveau de la plaque motrice (jonction entre la terminaison du nerf moteur et de la fibre striée). Les agents curarisants sont des antagonistes compétitifs des récepteurs nicotiniques à l'acétylcholine.

3.1.3 Limites

L'anesthésie s'accompagne d'une dépression plus ou moins importante des fonctions physiologiques, notamment cardiovasculaires et respiratoires. En cas de dépression importante, la perfusion tissulaire peut être compromise, ce qui peut avoir des conséquences majeures selon l'organe concerné. Le système nerveux central, le cœur, les reins et le foie tolèrent ainsi très mal une hypoperfusion et le déficit d'oxygène associé. Toute anesthésie est donc associée à un risque potentiel de morbidité/mortalité.

Le risque anesthésique est multifactoriel, il est associé à :

- L'état de santé de l'animal, les animaux malades présentant un risque accru, l'évaluation de l'état de santé de l'animal se base sur une classification ASA comparable à celle de l'Homme.
- L'âge de l'animal, les individus de moins de 3 mois ou plus de 12 ans présentent des risques accrus.
- Le poids et la taille, les animaux de petite taille étant plus à risque de surdosage.
- Les autres traitements en cours.
- Au tempérament de l'animal, les animaux stressés nécessitent des doses d'agents anesthésiques supérieurs et présentent un risque de complication plus important.
- A la race, les races brachycéphales présentent un risque anesthésique plus élevé.
- A l'expérience de l'anesthésiste
- A l'équipement et aux moyens mis en œuvre pour réaliser l'anesthésie
- A l'habilité du chirurgien et au type d'intervention.

Le risque global de mortalité anesthésique chez les animaux de compagnie (tout état de santé confondu) est estimé à 0,17% chez le chien, pour les animaux sains le risque de mortalité est estimé à 0,05% et peut atteindre 1,33% chez l'individu malade.

3.2 Cahier des charges des reconstitutions prothétiques dento-portées. (11,22–25)

3.2.1 Objectifs

Les couronnes ont pour objectif de reconstituer l'anatomie dentaire, restaurer la fonction de l'organe dentaire et de protéger les structures dentaires résiduelles des contraintes mécaniques et biologiques. Ceci doit être assuré en respectant l'harmonie occlusale du sujet et l'homéostasie des tissus aussi bien dentaires que parodontaux. La conservation tissulaire sera un principe primordial que l'opérateur devra toujours garder à l'esprit.

La prothèse mise en place devra présenter une congruence maximale avec les tissus dentaires afin d'obtenir un joint le plus réduit et hermétique possible. Ceci afin de prévenir toute infiltration bactérienne et prévenir le développement de pathologies péri-apicales sur la dent traitée.

La restauration d'un croc fracturé s'inscrit également dans une démarche prophylactique afin de prévenir les fractures du croc controlatéral. Plus la fracture est importante, plus la hauteur du croc résiduel est faible par rapport au croc controlatéral, et plus le déséquilibre des forces exercées sur chacun d'eux est important. Une différence importante de hauteur (plus de 50%) engendrera un facteur de risque de fracture augmenté pour la dentition saine.

La notion d'esthétique est bien souvent secondaire en odontologie vétérinaire. Cependant une concertation avec le propriétaire de l'animal devra être établie avant toute restauration afin de tenir compte de la volonté de celui-ci.

3.2.2 Contraintes liées à la spécificité de l'animal

L'anesthésie complète de l'animal est requise pour ce type de traitement. De plus du fait que le protocole de préparation puis de pose de la prothèse requièrent deux anesthésies successives, les animaux dont la santé est compromise ne peuvent subir cette intervention.

Du fait de la forme générale des dents de l'animal, plutôt conique avec un grand axe important, les forces induites par bras de levier seront importantes au niveau des restaurations. Ce phénomène a pour conséquence de menacer l'intégrité de la restauration (descellement, fracture) et des structures dentaires résiduelles supports. Pour compenser et limiter ces forces, il est préférable d'opter pour des prothèses plus courtes et arrondies que la dent originelle.

La présence de praxies anormales (mordillements répétés et anormaux d'objets par exemple) sera une contre-indication à la pose de prothèses dentaires. Ces contraintes anormales ne permettant pas d'assurer une pérennité satisfaisante de l'ensemble restauration/organe dentaire.

3.3 Reconstitutions prothétiques, approche « classique » et approche « numérique »

3.3.1 Méthode classique (8,10,28–33)

3.3.1.1 Evaluation

Toute intervention de ce type se fait nécessairement sous anesthésie générale. Dans un premier temps il est nécessaire d'évaluer à l'aide de radiographies l'atteinte de la dent. Il faut évaluer l'atteinte radiculaire, pulpaire, l'état des tissus parodontaux et la présence de pathologies péri-radicales. Une mesure du sulcus à l'aide d'une sonde graduée permettra d'évaluer le degré de toute atteinte parodontale.

3.3.1.2 Préparation

La préparation se fait de manière classique, en respectant le principe d'économie tissulaire. La taille du moignon doit permettre d'obtenir une surface régulière, sans contre-dépouilles. Un épaulement sera réalisé afin d'obtenir un joint prothétique de qualité et permettre une bonne lisibilité de la zone à restaurer au laboratoire de prothèse.

Différentes préparations sont possibles selon le type et l'étendue de l'atteinte de la dent :

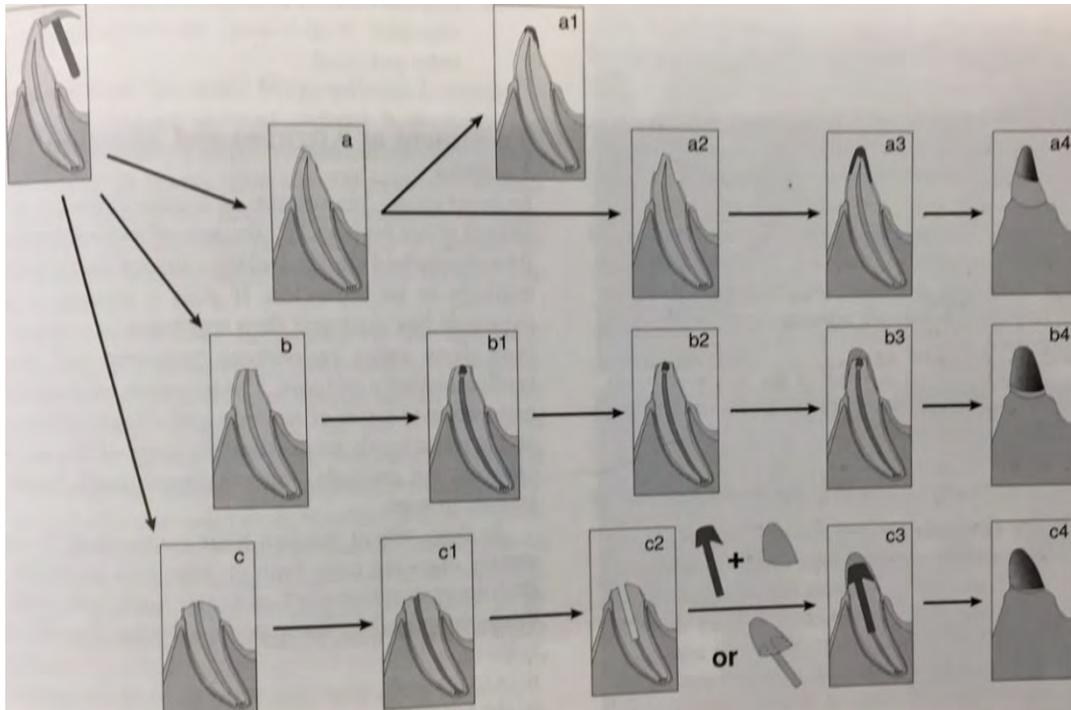


Figure 23, les différents types de préparations adaptées à la perte des tissus (29).

a. Fracture sans exposition pulpaire

- Si la perte de substance est faible une simple restauration composite sera indiquée (a1) ;
- Si la préparation requiert d'éliminer plus de tissus, une couronne (souvent métallique) sera indiquée. La surface doit être régulière, sans porte-à-faux et les pentes doivent converger de la base de la préparation vers le sommet avec une pente idéale de 6°. Elle est scellée à la dent au moyen d'un ciment. La rétention dépend de la surface disponible pour le ciment (a2, a3, a4).

b. Fracture avec exposition pulpaire, mais il reste la majeure partie de la couronne restante

- Le traitement endodontique préalable à toute restauration (b1)
- Une couronne (souvent métallique) sera indiquée. La préparation élimine toute contre-dépouille, pentes convergentes vers le sommet. La limite cervicale de la prothèse étant un facteur de risque de rétention de plaque et donc d'irritation du parodonte, il est préférable de la réaliser à distance du sulcus. Idéalement 1-2 mm au-dessus de la ligne gingivale (b2, b3).
- L'anatomie de la couronne sera plus courte et arrondie que la dent originelle (b4).

c. Fracture avec exposition pulpaire, la majeure partie de la couronne dentaire est perdue

- Le traitement endodontique est réalisé mais les tissus restants ne permettent pas un ancrage suffisant pour placer directement une restauration. Un pilier d'ancrage radiculaire sera donc utilisé, par-dessus lequel la couronne pourra être posée. Ce dispositif permet de restaurer un ancrage suffisant pour permettre la pérennité de la reconstitution. La longueur du pilier d'ancrage sera idéalement deux fois supérieure à la hauteur de la couronne prévue (c1, c2).
- Le pilier d'ancrage est scellé à la dent, puis la couronne est elle-même scellée au moignon ainsi reconstitué (c3, c4).

3.3.1.3 Empreinte

Classiquement la technique utilisée est celle de la « double empreinte ».

Dans un premier temps un silicone de haute viscosité est placé dans un porte-empreinte et introduit en bouche. Après sa prise, un silicone de basse viscosité est placé dans la première empreinte réalisée. Le porte-empreinte est alors repositionné en bouche jusqu'à la prise du second silicone, il permet d'enregistrer les détails fins de l'anatomie et de la préparation.

Une empreinte de l'arcade antagoniste est également réalisée, usuellement en un seul temps au moyen de produit d'empreinte type alginate.

Afin que le prothésiste puisse produire une pièce s'intégrant en harmonie au sein de l'occlusion du sujet, il est nécessaire de lui fournir un enregistrement de l'articulé des mâchoires. Cette empreinte est réalisée avec un silicone de haute viscosité sur lequel on ferme les mâchoires du sujet, enregistrant ainsi leur relation. Une autre technique consiste à utiliser une plaque de cire ramollie par chauffage, à la place du silicone, qui sera maintenue jusqu'à refroidissement.



Figure 24, Ensemble des informations transmises au laboratoire de prothèse : empreintes, modèles d'étude et cire d'occlusion (10).

3.3.1.4 Etapes de laboratoire

Les prothèses sont réalisées en laboratoire selon la technique de choix de celui-ci. Classiquement, à partir des empreintes, les modèles sont coulés en plâtre. Sur lesquels la prothèse est réalisée en cire par le technicien. Le modèle métallique est ensuite obtenu par la technique de coulée dite de la « cire perdue ».

3.3.1.5 Pose

Une seconde anesthésie générale est nécessaire pour cette étape. Les prothèses métalliques sont scellées avec un ciment de type verre-ionomère. Le contrôle de l'occlusion de la nouvelle prothèse est nécessaire préalablement au scellement de celle-ci.



Figure 25, Couronne métallique sur 104.(12)

Le taux de succès de cette thérapeutique varie selon la technique utilisée et de l'opérateur la réalisant. Une dent restaurée prothétiquement ne sera jamais aussi résistante qu'une dent naturelle. Les contraintes que subissent les chiens de travail (militaires, policiers, douanes...) ont été mesurées (HAMEL et al. 1996). Les forces de traction des quatre crocs variaient de 1000 à 1120 Newtons, la force répartie sur chacun d'eux peut donc s'évaluer de 250 à 290 N. LE BRECHT (1996) a éprouvé sur plusieurs crânes la résistance de dents naturelles et couronnées. Les dents naturelles cédaient à des forces de 1500 N alors que la résistance des dents couronnées n'a pas dépassé 430 N.

ULMER et al. ont évalué de la pérennité des restaurations prothétiques chez les chiens du 132^e BCAT (bataillon cynophile de l'armée de Terre).

Technique utilisée	Nombre de prothèses posées	Nombre de prothèses en place à 1 an après une seule intervention	Pourcentage de réussite à 1 an
Couronne collée	13	6	46%
Couronne collée après reconstitution en tenon carbone	7	0	0%
Prothèse de type Richemont (réalisé de 1997 à 1999 par RICHARD)	24	16	69%
Prothèse de type Richemont (réalisé de 1998 à 2000 par ULMER)	19	16	84%
Prothèse de type Richemont (réalisé de 2000 à 2003 par LAMOUR)	49	28	57%
Prothèse associant inlay-core et couronne coulée	46	32	69%

Figure 26, Comparaison des résultats des différentes techniques utilisées au service vétérinaire de 132^e BCTA Suippes.

Une autre étude (FINK et REITER, 2005) évalue également le taux de succès des traitements prothétiques chez le chien. Elle est réalisée sur chiens domestiques, incluant 41 individus et 68 prothèses, sur une période de 13 ans (2000-2012). Elle considère comme un succès les thérapeutiques dont la pérennité est assurée jusqu'à la mort de l'animal. Le traitement a été jugé comme un succès dans 58 cas (85.3%), avec une durée moyenne pendant laquelle les prothèses sont restées en bouche de 1598 jours (4.3 ans).

3.3.2 Méthode par CFAO

Il est proposé de tester la faisabilité de la mise en œuvre de la technique de reconstitution prothétique assistée par ordinateur chez le chien, par l'évaluation de la capacité d'adaptation de l'ensemble des outils, aussi bien physiques qu'informatiques, aux spécificités de l'anatomie canine.

Nous proposons donc de réaliser une restauration prothétique sur un modèle de mâchoire de chien en passant par chaque étape de la chaîne numérique.

3.3.2.1 Présentation (16,34,35)

Nous utiliserons comme matériel de CFAO le Cerec OMNICAM, avec le logiciel Cerec (4.5), associé à l'unité d'usinage Cerec MC X, par le fabricant Sirona. L'acquisition se fait par flux vidéo, sans poudrage et permet de figurer la couleur des tissus.



Figure 27, Cerec OMNICAM et usineuse Cerec MC X.

Nous utiliserons comme support un modèle anatomique articulé, en résine, de mâchoire canine à l'échelle 1 (fabricant : HeineScientific). Ce modèle figure différentes affections dont une 104 fracturée que nous nous attacherons à restaurer.



Figure 28, Modèle anatomique échelle 1.



Figure 29, 104 à restaurer.



Figure 30, 204 homologue controlatérale de 104.

La 104 est préparée selon la technique de pénétration contrôlée, de manière homothétique avec un cylindre de rétention à sa base. La préparation ménage une surface de rétention suffisante en créant un espace prothétiquement utilisable suffisant à la pose d'une couronne. Les arêtes sont également arrondies. La limite posée est de type épaulement à angle interne arrondi, nettement supra-gingivale, respectant l'intégrité du parodonte. Du fait du matériau du modèle, la préparation a été polie et ébarbée afin d'obtenir une surface nette et une limite cervicale propre.

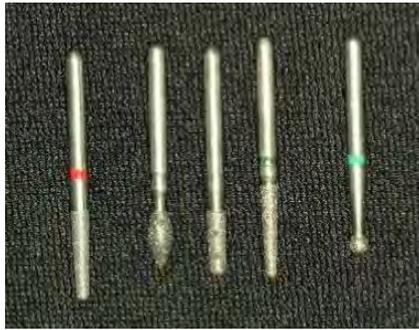


Figure 31, Set de fraises utilisées pour la préparation.

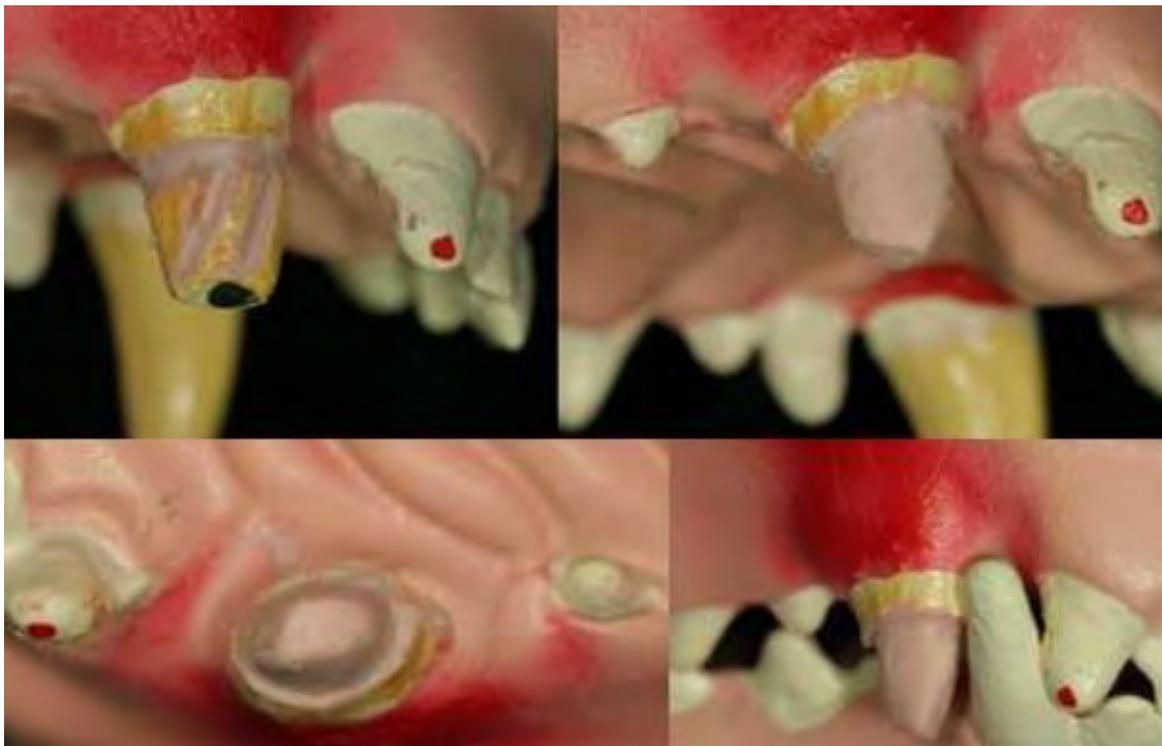


Figure 32, Préparation de 104.

3.3.2.2 Empreinte (35,36)

Il est choisi de réaliser l'empreinte de l'arcade dentaire complète, bien qu'une empreinte partielle avec seulement le moignon et les dents adjacentes aurait été suffisante pour réaliser la prothèse. Ceci afin d'avoir un aperçu de la capacité de prise d'empreinte de la caméra sur l'ensemble des anatomies dentaires différentes ainsi que la prise en charge d'une arcade substantiellement plus longue et volumineuse.

La prise d'empreinte de l'arcade complète est réalisée en suivant le protocole délivré par le fabricant. L'enregistrement se fait par l'acquisition successive de chaque héli-arcade. Ces techniques bien que déterminées pour l'arcade humaine se transposent sans difficultés à l'animal.

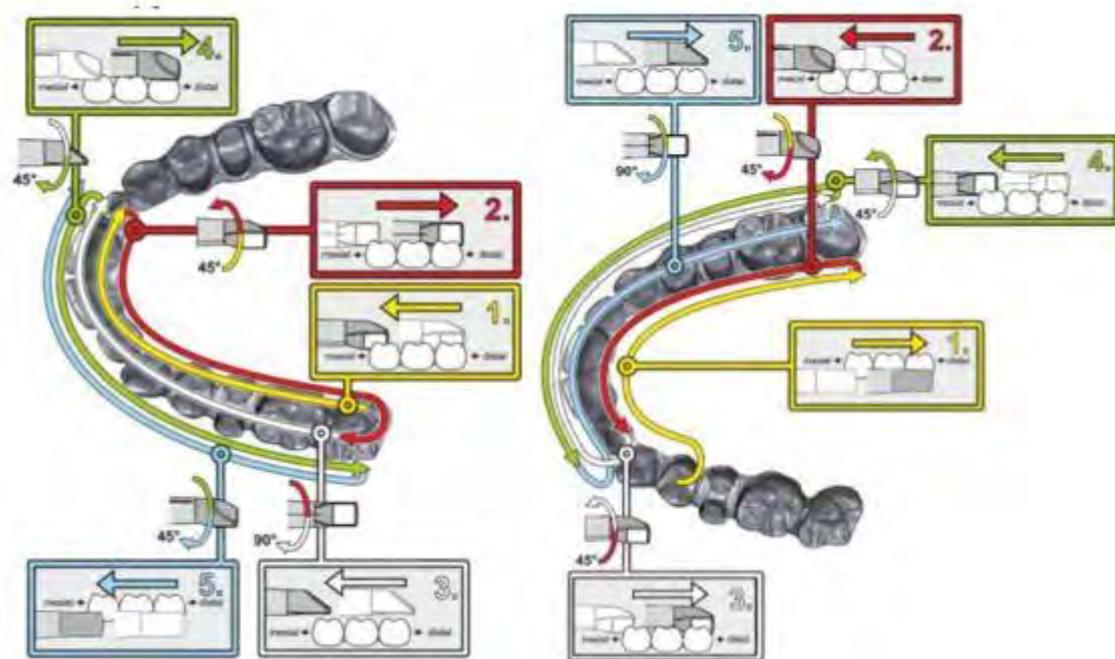


Figure 33, Plan d'enregistrement de chaque héli-arcade (34).

L'enregistrement du premier quadrant s'effectue jusqu'à la deuxième dent du quadrant controlatéral :

- 1. Caméra en position occlusale, sur la dent la plus mésiale. Basculement de la caméra de 45°, en position palatine, et déplacement dans le sens mésial à distal.*
- 2. Bascule de la caméra de 45° supplémentaires en palatin et déplacement dans le sens distal.*
- 3. Bascule de 90°, sur la surface occlusale et déplacement dans le sens mésial.*
- 4. Bascule de 45°, en position vestibulaire, déplacement dans le sens distal.*
- 5. Bascule de 45° supplémentaires, en position vestibulaire, déplacement dans le sens mésial.*

L'enregistrement du second quadrant prend comme point initial la face occlusale d'une prémolaire précédemment enregistrée :

1. *Caméra en position occlusale, bascule de la caméra de 90° en position palatine et déplacement de mésial à distal jusqu'à la dernière dent.*
2. *Bascule de 45° supplémentaires, en position palatine et l'on se déplace de nouveau vers les dents antérieures.*
3. *Après avoir atteint le bloc antérieur, bascule de la caméra à 45° du côté vestibulaire et déplacement de mésial vers distal.*
4. *Bascule de 45° supplémentaires (90° au total), en vestibulaire et déplacement de distal vers mésial.*
5. *Après avoir atteint le bloc antérieur, position occlusale et déplacement de mésial vers distal jusqu'à la dernière molaire.*
6. *En cas de données manquantes, on peut procéder à des balayages supplémentaires sur les zones concernées.*

L'acquisition de l'arcade concernée par la restauration et de son antagoniste faite, nous réalisons ensuite la prise des rapports occlusaux. Cette prise se fait par le scan vestibulaire d'une zone restreinte des arcades en occlusion. La zone scannée, bien que restreinte, doit être suffisamment étendue pour contenir assez de points de repères pour que le logiciel de CAO puisse superposer les trois clichés. Elle est réalisée à proximité de la préparation, elle enregistre les dents maxillaires et mandibulaires ainsi qu'environ 5mm de la gencive correspondante (fig.37).

Est également réalisée une empreinte individuelle de la 204, controlatéral à 104. Ceci afin d'exploiter une fonctionnalité du logiciel de CAO appelé « copie biogénérique », qui permet au logiciel, à partir d'une dent scannée, de proposer une prothèse dont l'anatomie sera copiée sur celle-ci (fig.38).

Les empreintes obtenues sont cohérentes et leur qualité est globalement comparable à celle obtenue lors de la prise d'empreinte d'arcade humaine, prise par la même machine (fig.36). Cependant la présence d'artefacts et de « bruits », sous forme de nuages de points, augmente significativement avec la hauteur des structures enregistrées, ils sont bien visibles au niveau de 204-205-206. Il nous a donc fallu passer par une étape de « nettoyage » de l'empreinte afin de détourner ces défauts clairement identifiés, sans toucher aux structures anatomiques enregistrées. L'enregistrement du moignon apparaît clair, sans défauts perceptibles.

Figure 34, Empreinte obtenue, avant modélisation.

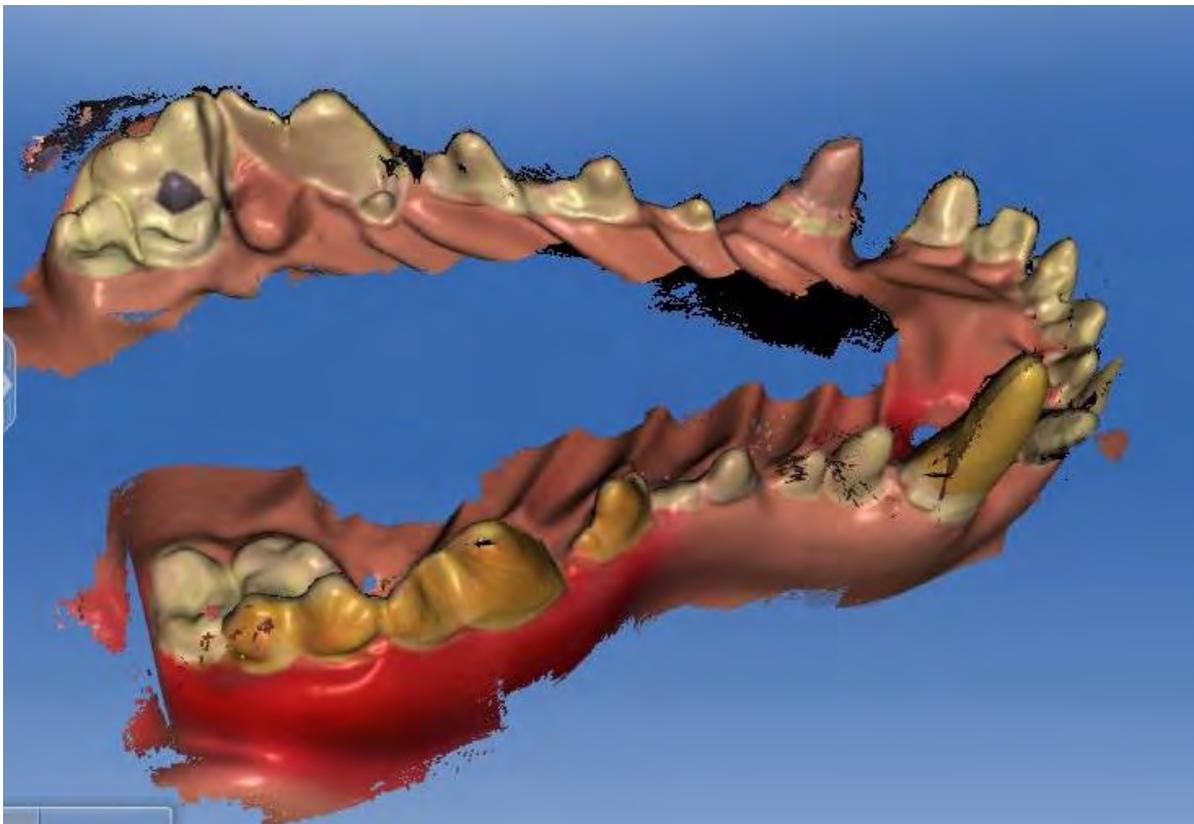


Figure 35, Empreinte mandibulaire avant modélisation.

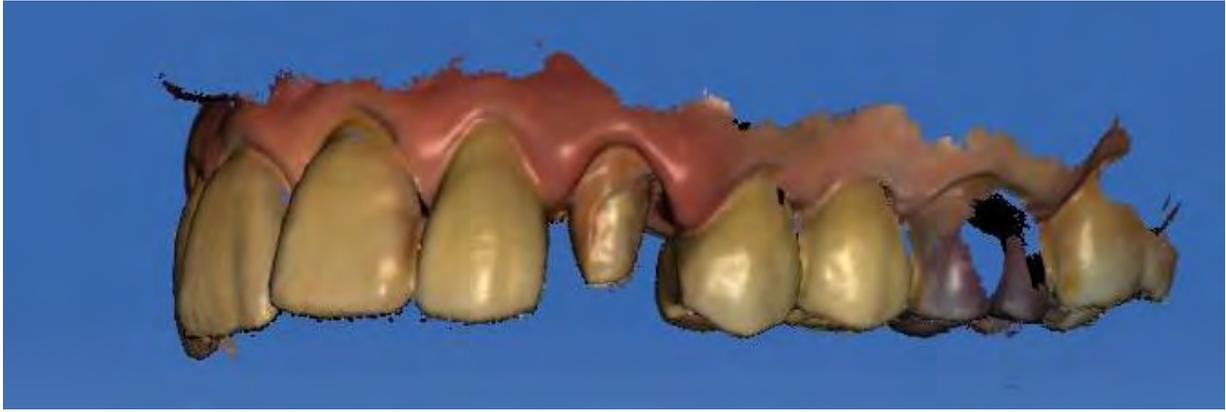


Figure 36, Empreinte humaine, avant modélisation. (Courtoisie du Dr Michel Guthmann)

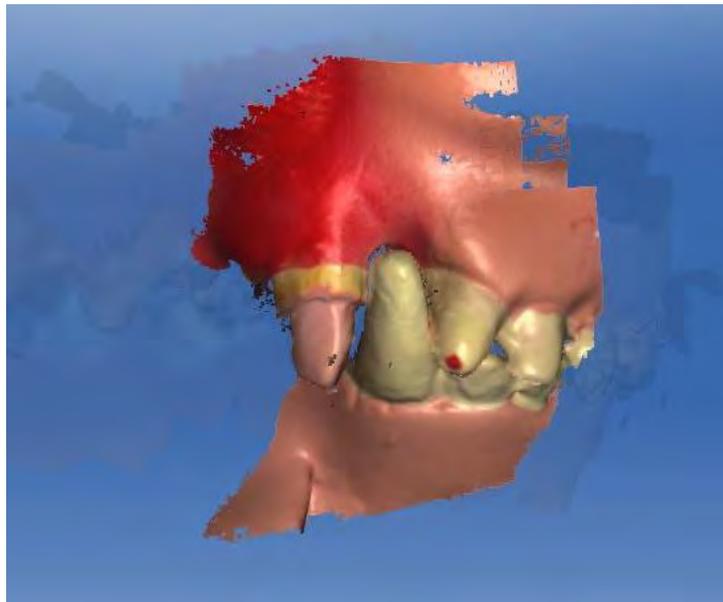


Figure 37, Prise des rapports occlusaux. La zone en couleurs vives est la zone scannée. Les empreintes repositionnées sont visibles par transparence.



Figure 38, Empreinte de la canine controlatérale 204.

3.3.2.3 Modèles numériques

Les empreintes réalisées sont traitées par le logiciel et nous obtenons les modèles numériques sur lesquels nous pourrions concevoir la prothèse.

Les modèles sont comparés avec des modèles humains obtenus par le traitement d'empreintes faites avec le même matériel et traités avec la même version logicielle (fig.41). La qualité des modèles semble être comparable dans les deux situations. Ces modèles sont nets et exploitables pour l'étape de conception de la prothèse. Nous pouvons cependant noter la présence d'un artefact sur le modèle mandibulaire (fig.39), en postérieur des incisives. Cet artefact ne perturbant pas l'occlusion enregistrée et n'interférant pas avec quelque structure dentaire, il est laissé tel quel. La coloration des structures est aussi parfois altérée au niveau des zones d'empreinte qui présentaient de nombreux bruits. Ces altérations sont observables au niveau de la 204.

Nous définissons ensuite les différents axes du modèle et points de repères (fig.42). Le logiciel étant conçu pour traiter des arcades humaines, et que les arcades humaines et animales n'étant pas superposables, nous choisissons de centrer le modèle sur les canines, qui correspondent à notre zone de travail.

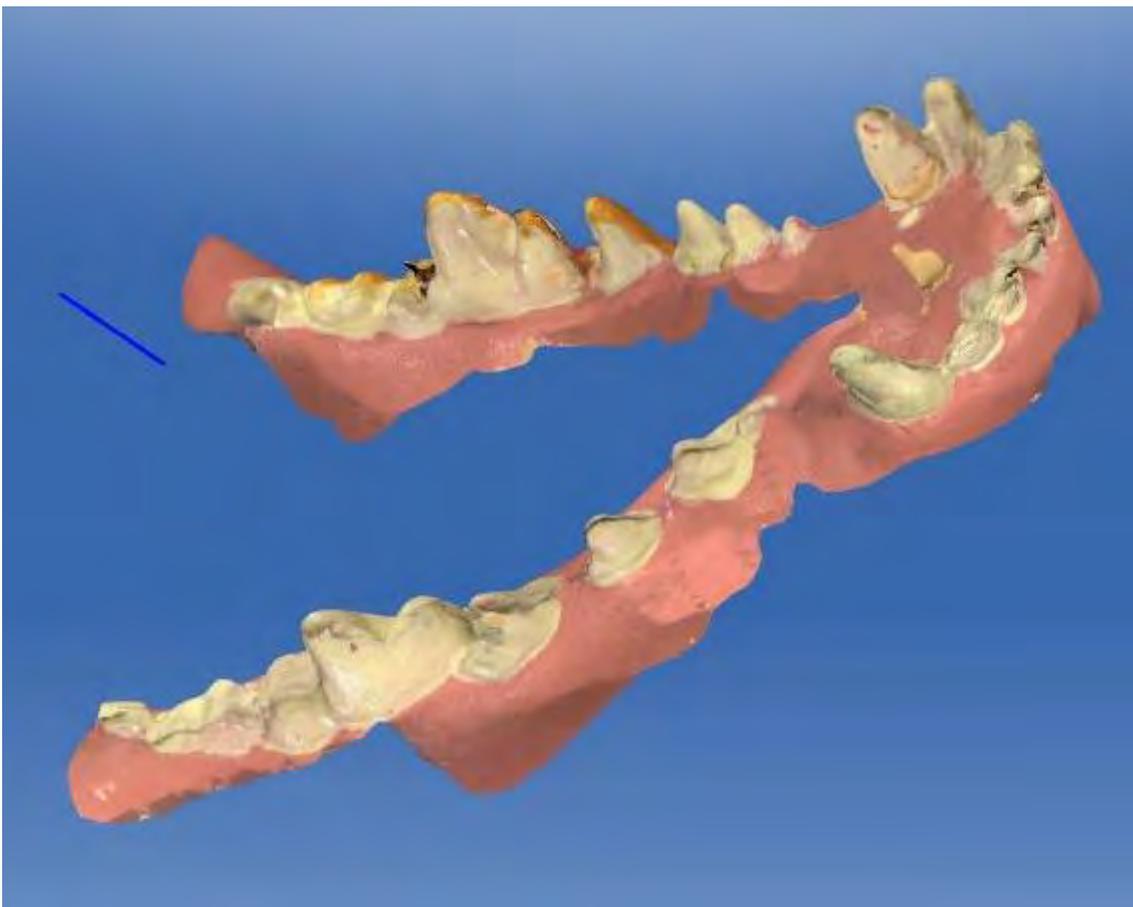


Figure 39, Modèle mandibulaire.

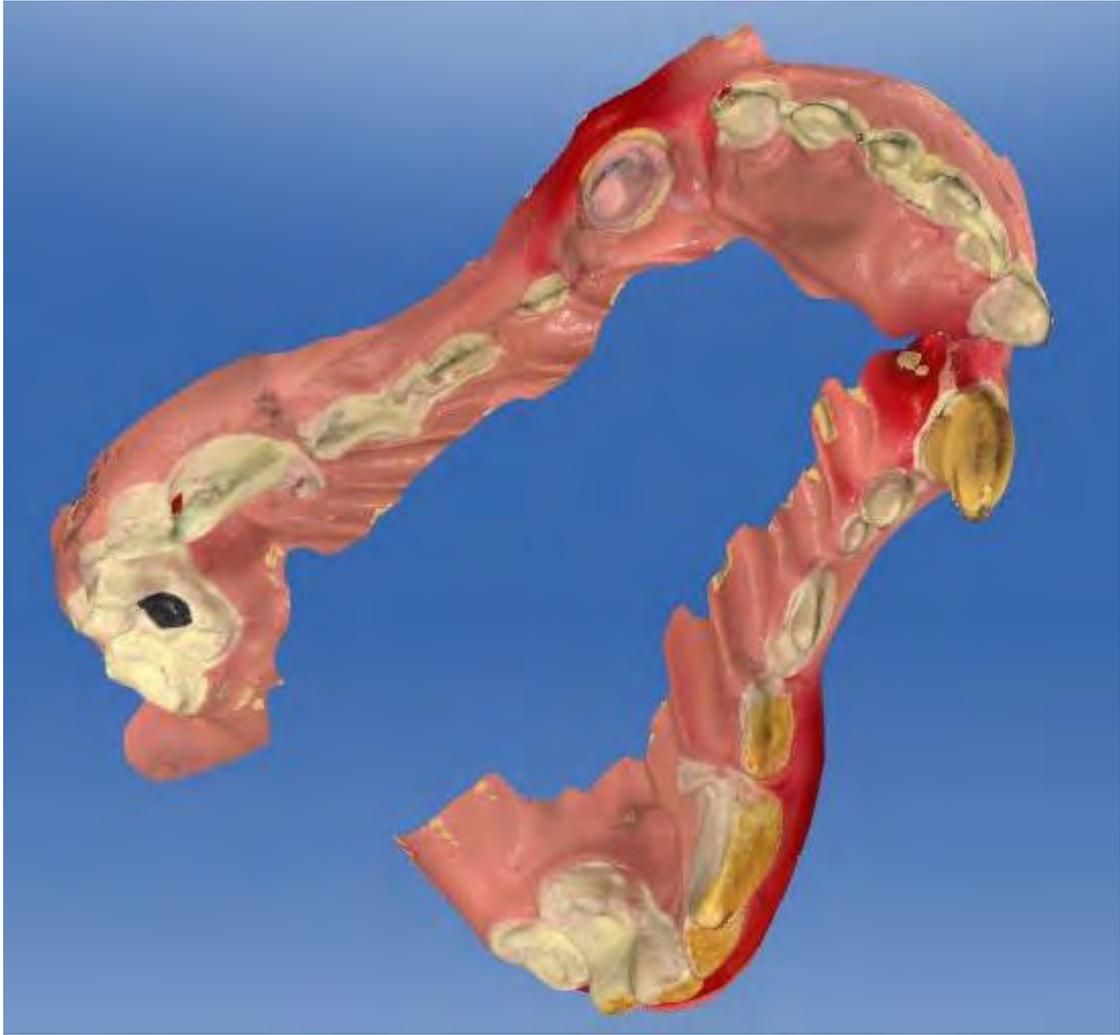


Figure 40, Modèle maxillaire.



Figure 41, Modèle numérique maxillaire humain, projet prothétique en place. (Courtoisie du Dr Michel Guthmann)



Figure 42, Définition des axes du modèle.

3.3.2.4 Méthode directe

3.3.2.4.1 Modélisation de la prothèse

La réalisation de la prothèse est faite directement par le praticien, au sein du cabinet. La première étape consiste à définir le bord de la prothèse. Nous traçons donc une ligne se superposant avec le bord de notre limite cervicale. Ce tracé est semi-automatisé dans la mesure où le logiciel reconnaît par lui-même le bord de la limite cervicale, mais qu'il nous appartient de vérifier ce tracé et de corriger celui-ci en cas d'imprécision (fig.43).

Le tracé de la limite validé, la modélisation de la prothèse peut alors débuter. Nous avons tenté d'exploiter une fonctionnalité du logiciel permettant de produire automatiquement une prothèse se basant sur la morphologie d'une autre dent préalablement sélectionnée, dans notre cas la 204, controlatérale de 104. La proposition à laquelle aboutit le logiciel n'est cependant pas conforme à nos attentes (fig. 44). L'anatomie de la prothèse proposée présente malgré tous des caractéristiques morphologiques propres aux canines humaines. Le logiciel ne parvient pas à s'adapter à l'anatomie extrême (relativement à l'anatomie humaine) des crocs animaux. Cependant l'adaptation de la prothèse à la limite définie est correcte.

Il nous appartient donc, à partir des outils de sculptures proposés par le logiciel, de définir manuellement l'anatomie recherchée. Les capacités de ces différents outils sont suffisantes pour obtenir une anatomie prothétique adéquate avec la restauration d'une canine chez le chien (fig. 45)

La prothèse obtenue est placée sur le modèle et son occlusion vérifiée. (fig.52)



Figure 43, Tracé des limites cervicales de la prothèse.

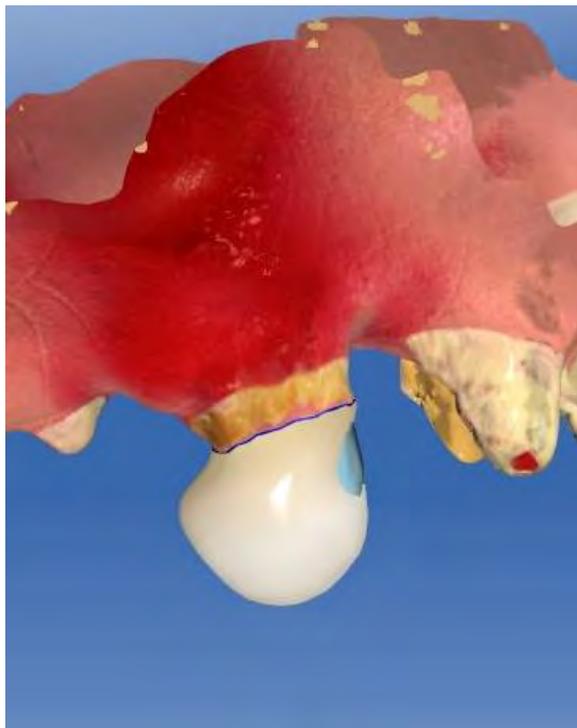


Figure 44, Proposition native du logiciel.

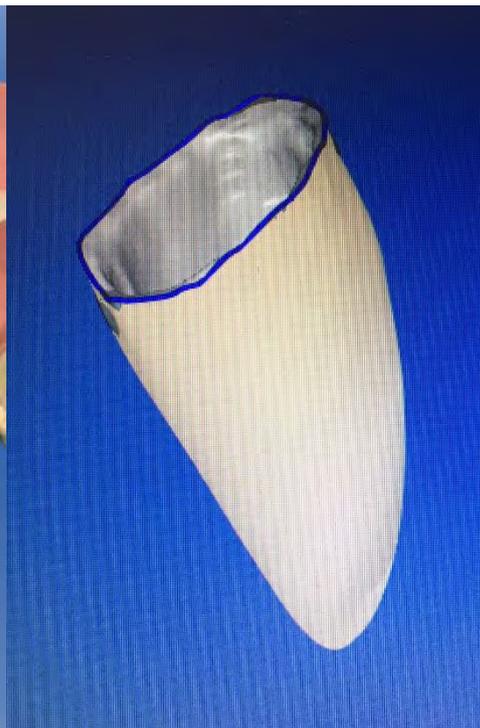


Figure 45, Prothèse obtenue par sculpture.

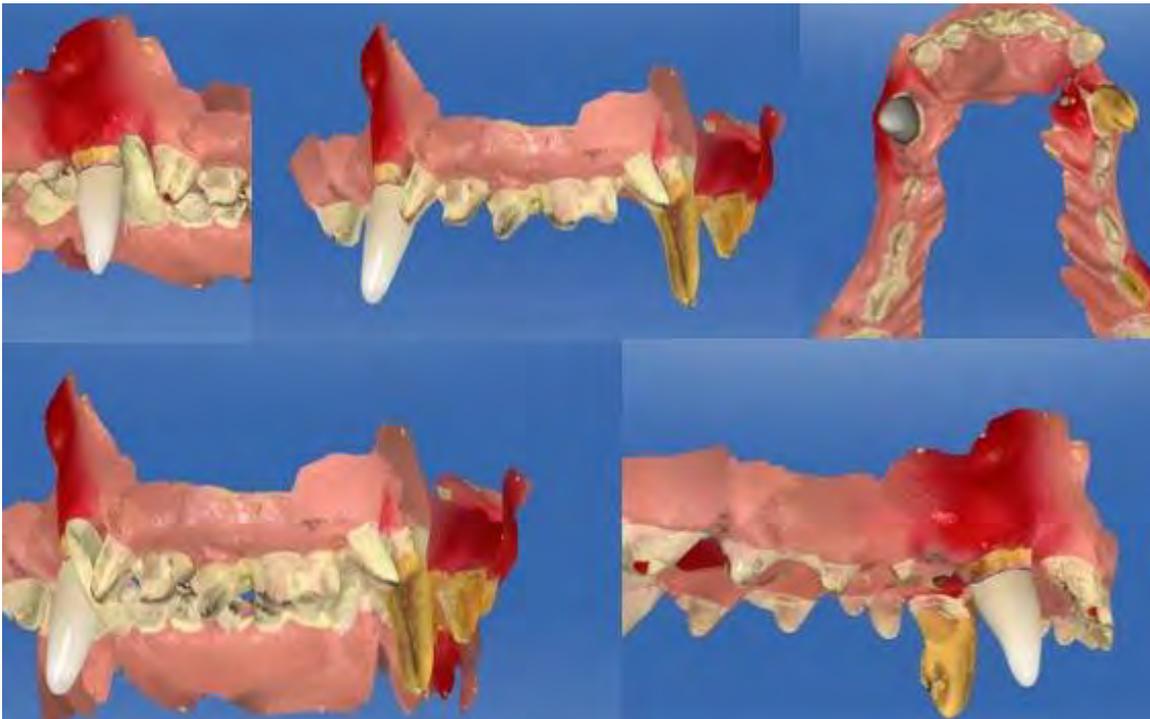


Figure 46, Prothèse finale, en place sur le modèle.

3.3.2.4.2 Usinage (37)

Une fois la prothèse jugée satisfaisante, nous passons à l'étape de l'usinage. Le bloc de matériau préfabriqué est sélectionné. Dans notre cas, nous utiliserons un bloc de Telio CAD (ivoclar vivadent) (fig.47). C'est un bloc de résine polymère (PMMA) utilisé usuellement pour la confection de couronne et bridges provisoires. Ce matériau est choisi car la prothèse réalisée n'est pas destinée à entrer en fonction chez un sujet vivant.

Nous paramétrons donc l'étape d'usinage en indiquant au logiciel de FAO les références du bloc sélectionné. La prothèse est ensuite virtuellement placée au sein de celui-ci et nous validons l'emplacement de la tige d'usinage (fig.48). Cette tige est placée de préférence en dehors des zones d'occlusion. Le bloc est ensuite placé dans l'usineuse et le processus est lancé. (fig.49)

Après une dizaine de minutes, l'usinage est terminé et la prothèse est récupérée. Nous procédons à l'ablation de la tige d'usinage et au polissage de la zone. (fig. 50)

La prothèse est essayée sur le modèle (fig. 51). Son adaptation est satisfaisante, l'insertion se fait sans difficultés et la coaptation au niveau de la limite est de bonne qualité. L'occlusion est contrôlée, elle est également satisfaisante, conforme aux réglages définis lors de sa conception numérique.

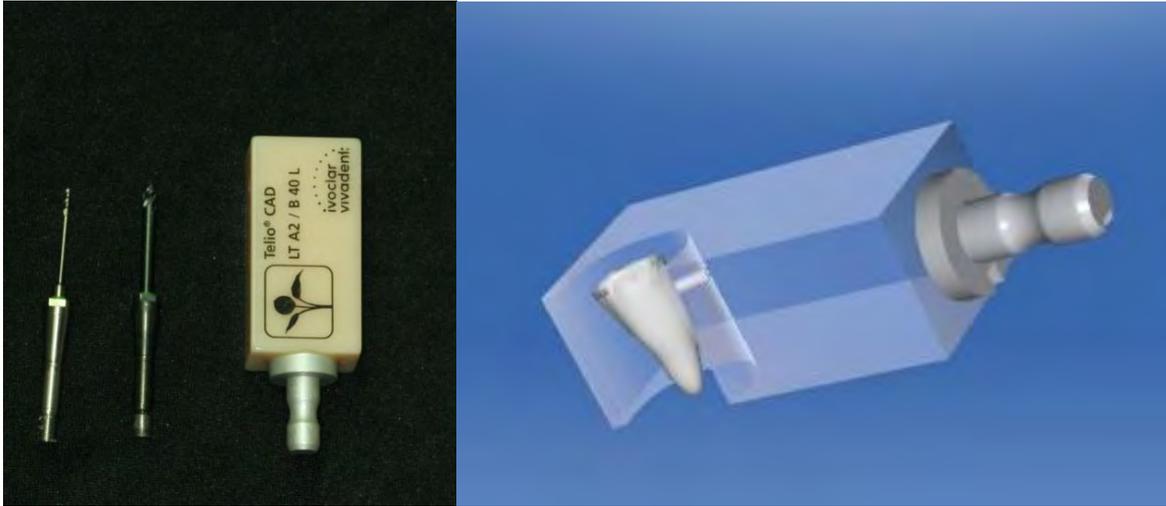


Figure 47, Bloc préfabriqué et fraises utilisées Figure 48, Prothèse placée au sein du bloc virtuel.

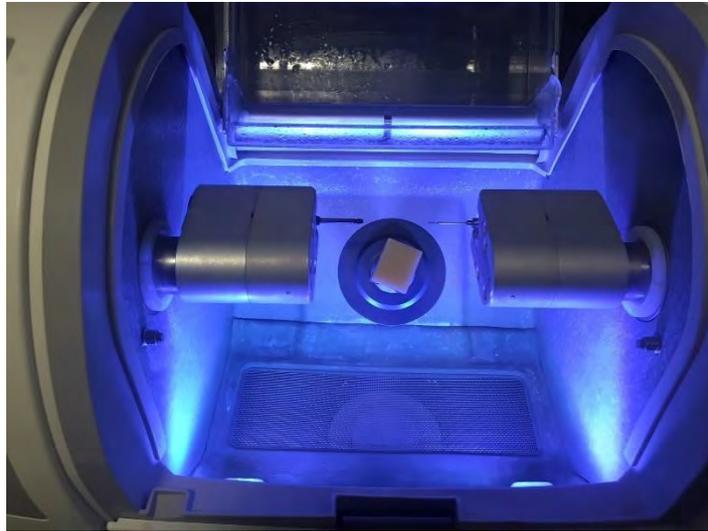


Figure 49, Bloc placé dans l'usineuse.

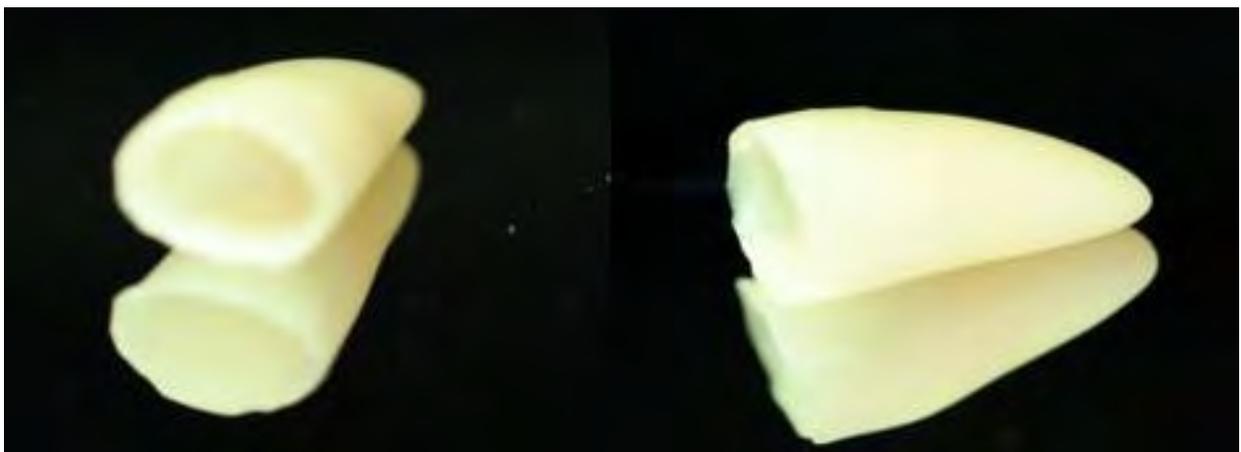


Figure 50, Prothèse usinée, tige d'usage retirée.



Figure 51, Essayage de la prothèse sur le modèle.

3.3.2.4.2.1 Choix des matériaux prothétiques (38–42)

Le matériau utilisé dans cet essai, une résine réticulée PMMA, ne pourrait bien sûr pas être utilisé en réalité clinique, il serait en effet incapable de supporter les forces exercées par l'animal. Cependant une large gamme de matériau, plus en adéquation avec les contraintes occlusales, est disponible.

Les céramiques disponibles en CFAO directe sont regroupées au sein de différentes familles :

- Feldspathiques
- Vitrocéramiques à base de leucite
- Vitrocéramiques renforcées au disilicate de lithium ou au silicate de lithium et zircon
- Céramique polycristalline Zircon

Les vitrocéramiques et les céramiques feldspathiques sont à prédominance vitreuse. Elles présentent d'excellentes propriétés esthétiques mais une résistance mécanique limitée, bien que cette résistance soit augmentée par leur collage. L'Empress CAD (Ivoclar Vivadent), une vitrocéramique à base de leucite, présente ainsi une résistance à la flexion (flexion bi-axiale) de 185 MPa.

Les vitrocéramiques renforcées possèdent la même structure que les précédentes mais leur phase cristalline est fortement augmentée, la matrice vitreuse devenant minoritaire. Il en résulte une amélioration de leurs propriétés mécaniques. Une fois collées, leur résistance est

aussi considérablement augmentée et atteindrait 70 % de la résistance que présente les zircons. La céramique Vita Suprinity PC (Vita), une vitrocéramique renforcée au silicate de lithium et zirconium, présente ainsi une résistance à la flexion (flexion bi-axiale) de 540 MPa. L'e.max CAD (Ivoclar Vivadent), une vitrocéramique au disilicate de lithium, présente quant à elle une résistance de 530 MPa à la flexion bi-axiale.

La zircone ne présente pas de phase vitreuse, elle se compose d'oxyde de zirconium dopé avec des oxydes (Magnésium, Cérium, Yttrium). En CFAO directe, nous n'avons accès qu'à des zircons pré-frittés, les zircons entièrement frittés présentant un usinage plus complexe. Du fait de l'absence de phase vitreuse, ces céramiques présentent une faible translucidité et par conséquent une qualité esthétique moindre. La microstructure de ce matériau ne permettant pas son mordantage, les pièces réalisées seront scellées plutôt que collées. Leurs propriétés de résistance mécanique sont cependant élevées. La zircone Zirconia (Sirona) présente ainsi une résistance à la flexion de 900 MPa.

3.3.2.5 Méthode semi-directe

En méthode semi-directe, les empreintes sont toujours réalisées numériquement par le praticien. Seulement, les fichiers obtenus sont envoyés à un laboratoire de prothèse, où ils seront traités et la prothèse réalisée. Les logiciels de CFAO disponibles en laboratoire de prothèses diffèrent de ceux disponibles en cabinet, généralement d'une plus grande technicité. La compatibilité entre le format des fichiers d'empreintes et du logiciel de CFAO au laboratoire de prothèse devra être anticipée. Selon le fabricant, les systèmes peuvent être dit « ouverts », le format des fichiers est standardisé et tout logiciel peut les ouvrir et les traiter, ou alors ils sont « fermés », leur lecture n'étant accessible que via un logiciel de CFAO dédié ou via une licence. Les usines de laboratoires, également plus complexes, permettent un plus large choix dans les matériaux disponibles.

Les empreintes ont été envoyées au laboratoire de prothèse Mobifix, qui a réalisé la conception et l'usinage. La couronne est usinée en zircone (Katana STML (Kuraray Noritake)). Cette zircone présente selon le fabricant des propriétés optiques comparables à des vitrocéramiques renforcées, pour une résistance de 748 MPa en flexion.

La couronne élaborée présente une bonne adaptation marginale et une anatomie compatible à la restauration de la dent lésée.



Figure 52, Usineuse de laboratoire et palet de zircone (Courtoisie de Benjamin Theron)



Figure 53, Couronne zircone, frittée et maquillée par Benjamin Theron.



Figure 54, Couronne réalisée au laboratoire, en place.

3.4 Discussion

Cet essai semble nous démontrer la possibilité technique de l'adaptation des protocoles de CFAO à la réalisation de restaurations prothétiques chez le chien.

Nous avons pu noter cependant des difficultés d'enregistrement des zones dont la hauteur était importante, nécessitant plusieurs passages de la caméra et occasionnant de nombreux bruits et artefacts. Les empreintes ont dû par conséquent passer par une étape de nettoyage manuel pour l'élimination de ces plages d'imperfections. Cette étape est relativement chronophage surtout sur des empreintes de grande étendue.

La conception automatisée de la prothèse par le logiciel Cerec est inapplicable. Bien qu'il soit capable de respecter une bonne adaptation marginale, le logiciel est conçu pour reconstituer des anatomies humaines et ne dispose pas de la flexibilité nécessaire pour proposer des anatomies animales par copie des autres dents présentes sur le modèle. On peut supposer que les valeurs des dimensions des dents du chien sont trop extrêmes et que le logiciel Cerec reste prisonnier de sa base statistique, calibrée pour des anatomies humaines. La puissance des outils de conception disponibles au sein du logiciel reste suffisante pour produire des prothèses à l'anatomie compatible avec la pratique vétérinaire. Cependant cette sculpture entièrement manuelle requiert du temps. Ainsi la première conception de la prothèse nous a demandé 50 minutes, lors d'une seconde conception prothétique, sur la même empreinte, ce temps est passé à 25 minutes. Une certaine courbe d'apprentissage pour une maîtrise efficace de l'ensemble du panel d'outils par l'opérateur est présente.

Vis-à-vis de l'usinage, nous avons à notre disposition des blocs préfabriqués dont les dimensions sont suffisantes pour produire des prothèses adaptées à l'animal, même des dents les plus volumineuses. Le matériau le plus résistant à notre disposition en CFAO directe est la zircone. Les blocs préfabriqués pré-frittés nécessitent de longs temps de cuisson la rendant peu compatible avec une approche CFAO directe. On trouve cependant chez certains fabricants des blocs préfrittés ne nécessitant que 10 à 15 min de cuisson comme les blocs Zirconia de Sirona.

Conclusion

L'essai réalisé semble démontrer que le matériel étudié, le Cerec OMNICAM de chez Sirona, possède la souplesse nécessaire pour son adaptation à l'anatomie canine, tant au niveau de l'enregistrement et de la modélisation du modèle numérique que dans les outils de conception prothétique et d'usinage. L'obtention d'un modèle numérique dénué d'artefacts majeurs, ainsi que l'obtention d'une prothèse adaptée aux limites de la préparation et dont la morphologie est identique à celle réalisé numériquement, conforte ce résultat.

Il faut cependant noter que le résultat obtenu n'est valable que pour le matériel étudié. L'offre de matériel sur le marché est en effet foisonnante, et nous ne saurions élargir ce résultat à d'autre ensemble de CFAO utilisant d'autre types de matériels et de logiciels sans les étudier au préalable.

Les avantages attendus de l'application des techniques de CFAO à la pratique vétérinaire seraient multiples. D'abord les avantages inhérents à la technique elle-même, valable aussi bien chez l'humain que chez l'animal, avec un gain de précision, de régularité et de rapidité d'exécution.

La simplification du protocole d'empreinte, ne requérant pas la maîtrise des différents matériaux silicones et alginates, ainsi que la prise des rapports inter-arcades facilitée semble être un avantage certain.

La réduction du nombre de séances nécessaires pour l'ensemble du traitement prothétique, qui peut se réaliser en une seule fois en CFAO directe, présente chez l'Homme un gain organisationnel et de confort pour le patient comme le praticien. Cet avantage prend tout son sens en odontologie vétérinaire où l'anesthésie générale est nécessaire au traitement. Réduire le nombre de séances nécessaires au traitement revient également à limiter la lourde mise en œuvre d'un protocole de sédation totale, qui n'est pas dénué de risques de surcroît, et participerait donc à la limitation du risque anesthésique.

Nous pouvons supposer également un avantage économique, résidant dans l'absence de recours à un laboratoire en méthode directe et la nécessité de mobilisation une unique fois d'un bloc opératoire avec la mise en œuvre d'un protocole de sédation, au lieu de deux fois consécutives. Cet avantage est à mettre en balance de l'investissement nécessaire à l'acquisition du matériel de CFAO. La mise en œuvre d'une méthode semi-directe présente quant à elle l'avantage d'une simplification du protocole d'empreinte, du raccourcissement du temps opératoire et d'une communication simplifiée avec son laboratoire de prothèse, le tout pour un investissement moindre que celui d'une chaîne de CFAO complète.

La mise en œuvre de la CFAO au sein de clinique vétérinaire semble être une perspective intéressante, et l'adaptation à la pratique vétérinaire de techniques et innovations d'abord pensées pour l'Homme n'est pas nouvelle. Cependant l'intégration de tels équipement au sein de cliniques vétérinaire nécessiterait un véritable effort de recherche de la part de tous les acteurs, praticiens et industriels, pour dépasser le stade de l'initiative et de l'expérimentation

isolée. La détermination et la validation de protocoles thérapeutiques prenant en compte la spécificité de l'animal ainsi que l'évaluation de la pérennité des restaurations obtenue par CFAO semble être le prérequis à toute diffusion plus large de ces approches numériques. Economiquement, bien qu'onéreuse, la CFAO pourrait trouver sa place au sein de structure spécialisées en stomatologie animale ou des structures accueillant un grand nombre d'animaux comme le centre hospitalo-universitaire de Toulouse. Bien que cette thèse évoque tout particulièrement le cas du chien le Docteur Male, nous fait également remarquer qu'une telle approche serait également intéressante chez les grands félins.

Le Directeur de Thèse



Le Président du Jury



Bibliographie

1. Evans, de Lahuta. Miller's Anatomy of the dog 4th edition. Elsevier;
2. Hennet P, Boutoille F. Guide pratique de stomatologie et de dentisterie vétérinaire. Med'com; 2013.
3. Barone R. Anatomie comparée des mammifères domestiques.
4. Emily P, Penman S. Handbook of small animal dentistry. In Pergamon press; 1990. p. 27-34.
5. Collados Sato javier. Atlas illustré des maladies bucco-dentaires chien, chat et animaux exotiques. Elsevier;
6. Kim SE, Arzi B, Garcia TC, Verstraete FJM. Bite Forces and Their Measurement in Dogs and Cats. Front Vet Sci [Internet]. 13 avr 2018 [cité 20 déc 2018];5.
7. Takaki P, Vieira M, Bommarito S. Maximum Bite Force Analysis in Different Age Groups. Int Arch Otorhinolaryngol. juill 2014;18(3):272-6.
8. d'Authéville P, Barrairon E. Odonto-stomatologie vétérinaire. Maloine. 1985.
9. Aksenovich TI, Kulikova AV, Kniazev SP, Zorkal'tseva IV, Borodin PM. [Polymorphism of dental formula and segregation of its variants in a pedigree of kerry blue terrier dogs]. Genetika. mars 2006;42(3):414-20.
10. Reiter AM, Ceracis M. Manual of canine and feline oral surgery 4th edition. BSAVA;
11. ČAPÍK I, LEDECKÝ A, SEVČÍK A. TOOTH FRACTURE EVALUATION AND ENDODONTIC TREATMENT IN DOGS. Acta Vet Brno. 2000;(69):115-22.
12. Ulmer P, Lamour T, Magnan S, Quain C, Ginesta J. Reconstitution prothétique de crocs fracturés chez le chien militaire. 2005.

13. Baba N, AlRumaih H, Goodacre B, Goodacre C. Current techniques in CAD/CAM denture fabrication. *Academy of general dentistry*. 2016;23-8.
14. Duret F. La C.F.A.O dentaire six ans après la première présentation au congrès de l, A.D.F. de 1985. *Actual Odonto-Stomatol*. 1991;(175):431-54.
15. Alghazzawi TF. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J Prosthodont Res*. avr 2016;60(2):72-84.
16. Arcaute B, Nasr K. CFAO au cabinet dentaire : le matériel disponible en 2017 [Internet]. *LEFILDENTAIRE magazine dentaire*. 2017 [cité 6 mai 2019].
17. CNIFPD. Guide de la CFAO dentaire. [Internet]. [cité 29 nov 2018]. Disponible sur: <http://www.cnifpd.fr/guidecfao/>
18. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am*. juill 2011;55(3):559-70.
19. Richert R. L’empreinte optique intrabuccale: de la connaissance théorique à la stratégie clinique. *Cah Prothèse*. 2016;176:32.
20. Fages M, Raynal J, Margerit J. CFAO directe aujourd’hui principes généraux. *Inf Dent*. 38.
21. Bermes-Klaine R. DIPLOME D’ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE. 2013;131.
22. Witowski S, Lange R. Application de la stéréolithographie dans la technique dentaire. *Rev Mens Suisse Odontostomatol*. 2003;113.
23. Zitzmann NU, Marinello CP, Lüthi H. Le système entièrement céramique Procera® AllCeram. 109:5.
24. Attal J-P, Tapie L, Lebon N. La chaîne numérique en CFAO dentaire en prothèse conjointe. *Inf Dent*. déc 2015;

25. Nakajima Y, Oki M, Sugimoto K, Suzuki T. [Survey of Dental Treatment Situation and Needs for Prostheses in Veterinary Practice]. Kokubyo Gakkai Zasshi. mars 2016;83(1):34-41.
26. Junot S, Touzot-Jourde G. Guide pratique d'anesthésie du chien et du chat. Med'com; 2015.
27. Bedford P. Small animal anesthesia. The increased risk patient. Baillière Tindall.
28. Gorrel C. Veterinary dentistry for the general practitioner. 2nd edition. Saunders Elsevier; 2013.
29. Holmstrom, Frost, Gammont. Veterinary dental techniques for the small animal practitioner. Saunders; 1992.
30. Hale FA, Anthony JM. Treatment of mandibular and dental fractures in a young dog., Treatment of mandibular and dental fractures in a young dog. Can Vet J Can Vet J. mai 1996;37, 37(5, 5):307, 307-9.
31. Crossley DA, Penman S. Manual of small animal dentistry. British small animal vet. assoc.; 1995.
32. Fink L, Reiter AM. Assessment of 68 Prosthodontic Crowns in 41 Pet and Working Dogs (2000–2012). J Vet Dent. 1 sept 2015;32(3):148-54.
33. Bladowski M, Kotowicz-Gears A, Choszcz D, Pawelec M, Wojtkiewicz J. Prosthetic reconstruction of broken canine teeth in dogs with use of cast metal posts. Pol J Vet Sci. 2013;16(2):399-402.
34. Sirona. CEREC Omnicam AC + MC XL - [Internet]. [cité 6 mai 2019]. Disponible sur: <https://henryscheinequipmentcatalog.com/cad-cam/intraoral-scanners/cerec-omnicam-mcxl>
35. Densply Sirona. Cerec AC avec CEREC Omnicam, Notice d'utilisation. 2019.

36. Bonjour S. L'enregistrement des relations intermaxillaires: des techniques classiques aux nouvelles approches par CFAO. Application à différents cas cliniques. Nancy-Metz; 2012.
37. GmbH MAW. Ivoclar Vivadent [Internet]. [cité 24 mai 2019]. Disponible sur: <http://www.ivoclarvivadent.fr/fr/p/tous/produits/restauration-provisoire/gamme-telio/telio-cad>
38. Plard H. Couronnes tout céramique: sceller ou coller? Dentoscope. (175):34-40.
39. Lambert H. Les blocs céramiques pour usinages en CFAO directe. AO News. (23):17-9.
40. CEREC Zirconia. Blocs céramiques à base d'oxyde de zirconium translucide pré-teinté pour inLab et CEREC. Instruction d'usinage: Confection de restauration pour couronnes et bridges. 2016.
41. VITA. VITA SUPRINITY PC Documentation technique scientifique. 2019.
42. Ivoclar Vivadent. Vue d'ensemble des blocs pour CEREC. 2019.
43. Trofin EA, Monsarrat P, Kemoun P, Cell therapy of periodontium: from animal to human. Front Physiol 2013 15;4325
44. Mettling B , Transformation numérique au travail, rapport établie à l'attention de Mme El Khomri, Ministre du Travail, de l'Emploi, de la Formation Professionnelle et du Dialogue Social. Sept 2015.
45. David E. Weisberg, Patrick Hanratty and MCS, 2008.

UTILISATION DE LA CFAO EN ODONTOLOGIE CANINE

RESUME EN FRANÇAIS :

Le développement de la CFAO et son introduction au sein des cabinets a bouleversé et radicalement modifié l'approche thérapeutique des chirurgiens-dentistes. Nous avons voulu dans cette thèse évaluer la possibilité de transposition des techniques de CFAO appliquées à l'Homme vers l'animal, spécifiquement vers le chien. Ce travail présente d'abord la discipline de l'odontologie canine, comprenant l'anatomie de la cavité buccale et les différentes pathologies pouvant l'affecter. Nous nous attachons ensuite à décrire les outils numériques actuellement à notre disposition et leurs utilisations. Dans une troisième partie nous décrivons le traitement prothétique d'une fracture dentaire à l'aide de la CFAO, en évaluant les apports et les obstacles que l'utilisation d'une telle technique soulève chez l'animal.

TITRE EN ANGLAIS : CAD-CAM USE IN CANINE ODONTOLOGY

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie-Dentaire

MOTS CLEFS : CFAO, empreinte optique, usinage, vétérinaire, chien, fracture, prothèse, adaptation.

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier

Faculté de chirurgie-dentaire

3 chemin des Maraichers

31062 Toulouse Cedex 9

DIRECTEUR DE THESE : Docteur Karim Nasr.