UNIVERSITE DE LILLE

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2022 N°:

THESE POUR LE

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 6 septembre 2022

Par Kimberley HOTTIAUX

Né(e) le 22 AVRIL 1996 à Fourmies – France

Étude céphalométrique en relation avec la prothèse amovible totale :

Détermination du plan d'occlusion en fonction d'une Téléradiographie et du CBCT

JURY

Président : Pr. Thomas COLARD

Assesseurs : Dr. Claude LEFEVRE

Dr. Thierry DELCAMBRE

Dr. Antoine PONCHANT

Président de l'Université	: Pr. J-C. CAMART
Directrice Générale des Services de l'Université	: M-D. SAVINA
Doyen UFR3S	: Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S	: G. PIERSON
Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S	: Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services	: M. DROPSIT
Responsable de la Scolarité	: G. DUPONT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE	Responsable du Département d'**Odontologie Pédiatrique** **Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S**
E. DEVEAUX	Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

K. AGOSSA	Parodontologie
T. BECAVIN	Dentisterie Restauratrice Endodontie
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale
P. BOITELLE	Prothèses
F. BOSCHIN	Responsable du Département de **Parodontologie**
E. BOCQUET	Responsable du Département **d'Orthopédie Dento-Faciale**
C. CATTEAU	Responsable du Département de **Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.**
X. COUTEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
P. HILDELBERT	Responsable du Département de **Dentisterie Restauratrice Endodontie**
C. LEFEVRE	Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses

L. NAWROCKI	Responsable du Département de **Chirurgie Orale** Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin – CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de **Biologie Orale**
W. PACQUET	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des **Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux**
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Responsable du Département de **Prothèses**

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

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

Table des matières

Introduction **8**

1 Rappel **10**

1.1 La céphalométrie 10

1.2 Analyse céphalométrique 2D 12

1.3 Les principaux repères 15

1.3.1 Les points 15

1.3.1.1 Points osseux 16

1.3.1.2 Identifier les tissus mous 19

1.3.1.3 Points nerveux 20

1.3.2 Plans et courbes 21

1.3.2.1 Le plan axio-orbitaire 22

1.3.2.2 Le plan de Francfort 23

1.3.2.3 Le plan incisif 24

1.3.2.4 Le plan d'occlusion 25

1.3.3 Courbes et sphère 26

1.3.3.1 La courbe de Spee 26

1.3.3.2 La courbe de Wilson 27

1.3.3.3 La sphère de Monson 28

2 Le flux 2D **29**

2.1 Matériel et méthode 29

2.2 Les points céphalométriques retenus 32

2.2.1 Analyse de Danguy 33

2.2.2 Analyse de Sassouni 37

2.2.3 Analyse de Ricketts 39

2.3 Cas cliniques 43

2.3.1 Application de la méthode de Danguy 45

2.3.1.1 Téléradiographie de profil avec les bases d'occlusion en bouche 45

2.3.1.2 Téléradiographie de profil sans les bases d'occlusion en bouche 46

2.3.2 Application de la méthode de Sassouni 47

2.3.2.1 Téléradiographie de profil avec les bases d'occlusion en bouche 48

2.3.2.1 Téléradiographie de profil sans les bases d'occlusion en bouche 49

2.3.3 Application de la méthode de Ricketts 51

2.3.3.1 Téléradiographie de profil avec les bases d'occlusion en bouche 51

2.3.3.1 Téléradiographie de profil sans les bases d'occlusion en bouche 53

2.4 Résultats et discussion 54

3 Le flux 3D **57**

3.1 Matériel et méthode 58

3.1.1 Matériel 58
3.1.2 Méthode 58
3.2 Cas expérimental 60
3.2.1 Approche exploratoire 60
3.2.2 Approche adaptative 65
3.3 Résultats et discussion 68
Conclusion et perspectives 70
Références bibliographiques 71
Index des figures 75
Index des tableaux 77
Annexes 78
Annexe 1 : Principes de radioprotection 78

Introduction

L'utilisation de la céphalométrie et plus précisément, de l'analyse céphalométrique, en prothèse amovible complète[1] n'est pas un concept nouveau. Elle en est même précurseur comme l'explique J. LEJOYEUX dans ses écrits sur la prothèse complète, où il postule que les études céphalométriques forment les bases fondamentales théoriques de la conception de la PAC. C'est sur ces principes qu'elle est fabriquée et enseignée aujourd'hui dans les facultés de chirurgie dentaire [1][2].

La céphalométrie a, tout d'abord, été mise à contribution pour l'étude de la position de la mandibule et de l'espace libre d'inocclusion par NISVONGER (1934). Elle a permis via la téléradiographie, de faire évoluer les connaissances en matière de résorption osseuse, de relation centrée et de positionnement des dents artificielles.
En 1967, elle est intégrée dans l'enseignement de la prothèse complète déterminant ainsi les points, plans et angles de références nécessaires à la compréhension et à la conception des traitements de l'édenté total.
L'étude céphalométrique du patient édenté présente une valeur réelle dans la vérification intra-arcade de la prothèse totale bimaxillaire. Son but final serait de supplanter la technique traditionnelle physique de la prise de relation intermaxillaire[2] avec les bourrelets d'occlusion en cire ou en Stent's. La prise de RIM est longue, peu confortable voire fastidieuse. Elle peut donner lieu à de nombreuses imprécisions et erreurs se répercutant en conséquence sur le montage des dents et l'intégration de la prothèse.

L'intérêt de ce travail de thèse est de trouver une méthode simple permettant de déterminer et de vérifier, le plan d'occlusion idéal chez le patient édenté total en s'appuyant sur les analyses céphalométriques de leurs radiographies.
La céphalométrie 2D servira de base pour comprendre et utiliser les études et méthodes d'analyses déjà existantes pour vérifier informatiquement l'orientation du plan d'occlusion idéal chez un patient édenté complet visant l'obtention d'une

[1] PAC : Prothèse amovible complète
[2] RIM : Relation inter-maxillaire

détermination 3D de celui-ci [1]. Cette méthode permettrait d'améliorer cette étape primordiale de la fabrication d'une PAC en la rendant plus pratique, rapide et confortable pour le praticien et le patient.

Désormais dans l'air du tout numérique il apparaît nécessaire de trouver de nouvelles méthodes pour déterminer ce plan d'occlusion, et l'orientation des dents pour l'intégrer dans le flux de conception numérique.

1 Rappel

1.1 La céphalométrie

La céphalométrie est à l'origine une l'application de la biométrie dans le domaine de l'orthopédie dentofaciale[3] ayant pour but final de définir une certaine « normalité » oro-faciale chez l'être humain. Elle peut être définie très succinctement comme l'ensemble des techniques de mesures de la tête [3].

C'est un processus d'analyse crânienne, une méthode radiologique généralement bidimensionnelle permettant une étude détaillée des os du crâne et de la face, avec pour but de détecter les problèmes, invisibles jusqu'à lors, sur un patient. Elle se présente généralement sous forme de deux télécrânes, un de face et un de profil strict. C'est un examen radiologique de base chez le patient pour entamer un traitement en orthodontie [4].

Après la découverte des premiers rayons X par ROENTGEN en 1895, deux moyens de visualiser la tête ont été décrits parallèlement par deux chercheurs.

BROADBENT en 1931 aux États-Unis et HOFRATH en Allemagne exposent une nouvelle méthode standardisée d'imagerie du squelette et de la face, nommée plus tard « céphalométrie » [2].

Edward ANGLE (XIXème siècle) participe aux fondements scientifiques de l'ODF en se basant sur la reconstruction des arcades dentaires par le traitement ODF suivant le principe de normalité.

Il sera suivi de PFAFF qui propose alors de trouver des références permettant de définir ces normes en s'appuyant sur des mesures d'angles (obtenues par diverses lignes tangentes aux points saillants du profil) réalisées par rapport au Plan Horizontal de Francfort [4].

Puis de Anders RETZIUS qui propose d'établir une classification ne tenant plus compte de ce facteur mais se basant sur le *norma lateralis* (CAMPER) vue latérale crâne, et *norma verticalis* (BLUMENBACH) vue supérieure du crâne (Fig.1) [5].

[3] ODF : Orthopédie Dentofaciale
[4] PHF : Plan Horizontal de Francfort

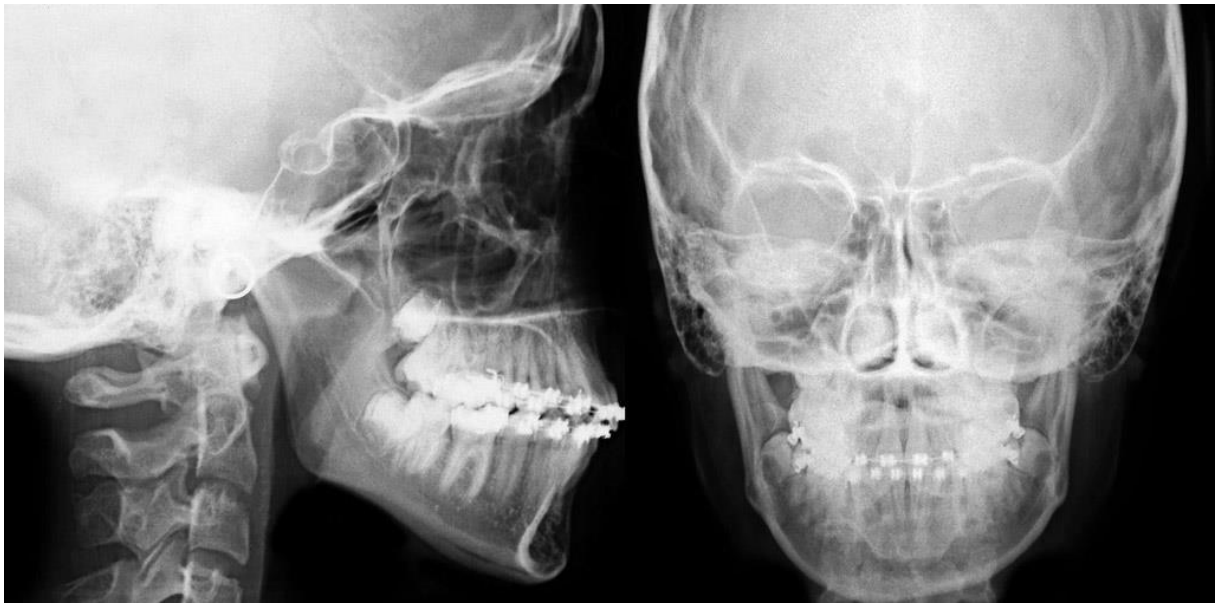

Figure 1: Téléradiographie de Profil (Norma lateralis à gauche) et de Face (Norma verticalis à droite) [6].

D'autres auteurs comme D'ARCY THOMPSON et De COSTER souhaitant donner une description mathématique de la mesure du vivant inspireront Fred L. BOOKSTEIN dans ses recherches pour la validation de la mesure du vivant par des moyens statistiques couplés à l'informatique [7].

Il existe d'autres classes d'analyses typologiques, comme l'analyse de BJORK qui a pour but de déterminer le type facial du sujet [8].

Une synthèse de l'école Française de Prothèse complète reprend les méthodes analytiques de TWEED/BALLARD/DOWNS/STEINER/RICKETTS/SASSOUNI, sur des points de céphalométrie différents dans le but d'évaluer :

- Le type squelettique
- La situation idéale avec l'orientation du plan d'occlusion
- L'inclinaison des incisives supérieures et inférieures [1]

Le rapport du 61^{e} congrès de la société Française d'orthopédie Dentofaciale datant de 1988 portant sur le plan d'occlusion, entrevoie les premières utilisations de la téléradiographie pour aborder les rapports du plan d'occlusion d'une nouvelle manière avec différents éléments [9][10].

1.2 Analyse céphalométrique 2D

La téléradiographie, comme examen complémentaire, apporte à travers la céphalométrie de nombreuses indications autres qu'en ODF : en médecine pour localiser d'éventuelles lésions crâniennes ou encore en neurochirurgie pour identifier des malformations crâniennes.

La tête du patient est positionnée dans un céphalostat de façon à ce que le plan sagittal médian soit parallèle au film et le plan de Francfort horizontal. On amène le patient entre les deux tiges auditives car celles-ci sont destinées à l'orifice acoustique externe, et on règle le PHF de manière à ce qu'il soit parallèle au sol. Les arcades dentaires du patient doivent être en occlusion pendant la phase d'acquisition. Généralement exécutée de profil elle se décline en trois modèles : *norma lateralis*, *norma frontalis*, *norma axialis*.

La réalisation de ce cliché doit répondre à deux impératifs :

- Une visualisation sagittale nette de toutes les structures, des points céphalométriques, du profil cutané, de l'ensemble de la tête
- Une reproduction stricte si le patient est symétrique. Le côté gauche du patient est contre le récepteur, orienté sur le plan de VIRCHOW ou Francfort horizontal et réalisation en occlusion [11]

Indispensable à la standardisation du cliché, le céphalostat permet de réduire le grandissement par projection conique de l'objet étudié et par conséquent de produire des mesures justes. [12,13]

La téléradiographie est la référence pour repérer les différents points, témoins de structures, qui sont indispensables pour les mesures de céphalométrie. Notamment le point Xi et le plan lui étant associé, mis en avant par RICKETTS [14][15][16].

L'étude de cette radiographie se faisait auparavant exclusivement sur du film radiographique, maintenant, elle se réalise principalement sur sa version dématérialisée via des logiciels prévus à cet effet (fig.2,3 et 4).

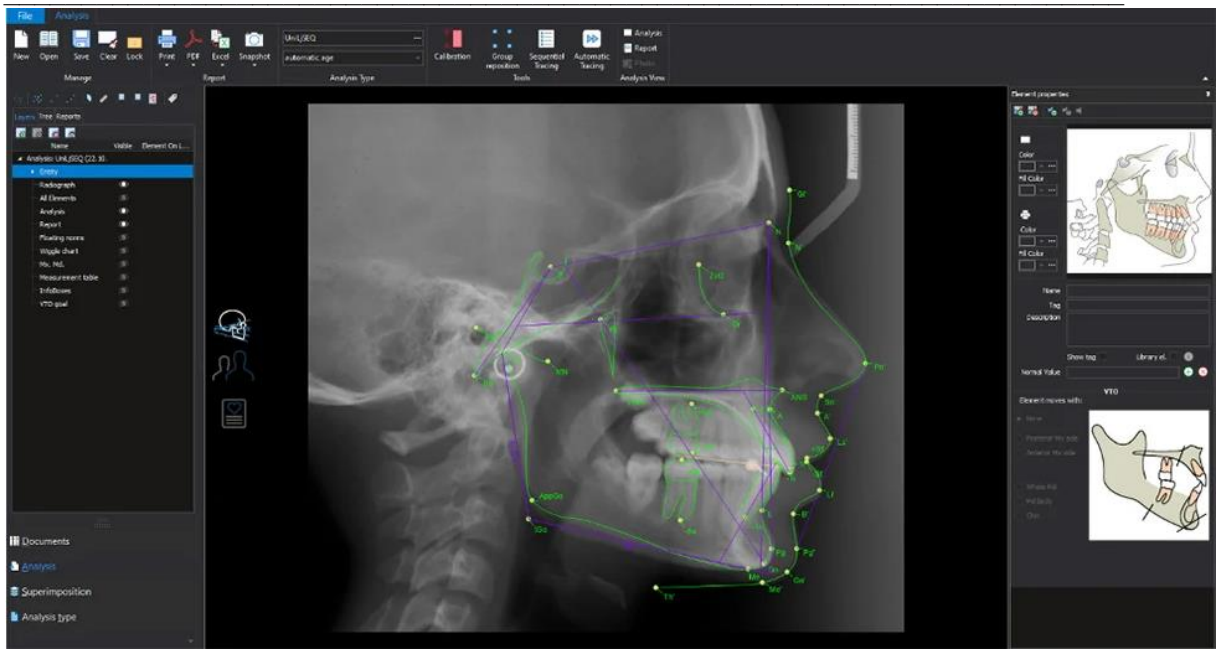

Figure 2: Logiciel Planmeca Romexis® Cephalometric Analysis, outil pour les analyses céphalométriques [17].

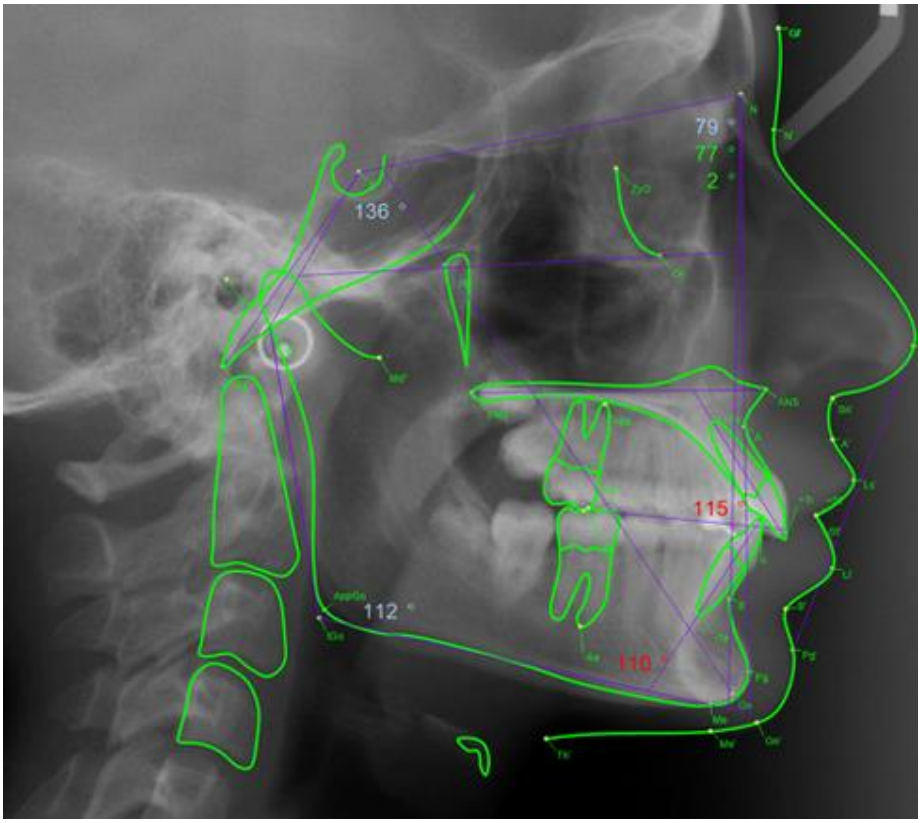

Figure 3: Exemple d'analyse céphalométrique avec le Logiciel Planmeca Romexis® Cephalometric Analysis [17].

La téléradiographie est orientée sur le PHF et apporte une approche antéro-postérieure et verticale essentielle pour situer le plan d'occlusion (déterminé par le bord des incisives et les pointes cuspidiennes)[18]. Les indications de la céphalométrie en prothèse complète sont :

➔ D'ordre général :

- Ajout d'éléments diagnostics
- Mise en évidence des asymétries squelettiques
- Mesure de l'angle goniaque
- Mise en évidence des parties molles
- Diagnostic d'une prognathie ou d'une rétrognathie mandibulaire
- Prise de connaissance du comportement neuro-musculaire du patient à travers un traitement logétronique du cliché

➔ D'ordre local (intéressant la construction d'une prothèse) :

- Orientation du plan d'occlusion au laboratoire et au cabinet
- Détermination de la valeur de la dimension verticale d'occlusion[5] en prenant en compte l'harmonie avec le reste de la face et du crâne
- La vérification, après montage, d'un espace l'espace libre d'inocclusion[6] physiologique.
- Confirmation radiologique d'une relation centrée correcte
- Étude des trajectoires condyliennes et des positions de la mandibule
- Localisation correcte des incisives inférieures et supérieures et leur orientation optimale
- Localisation idéale des molaires supérieures et inférieures dans les trois plans de l'espace
- Contrôle de l'usure des prothèses complètes dans le temps [1]

[5] DVO : Distance Verticale d'Occlusion
[6] ELI : Espace Libre d'Inocclusion

Parmi ces indications, on s'intéressera à celles traitant de l'orientation du plan d'occlusion, de la détermination de la DVO et de l'angulation des incisives et molaires.

Figure 4: Exemple de logiciel d'analyse céphalométrique de chez Orthoadvance [19].

1.3 Les principaux repères

1.3.1 Les points

Ces éléments rendent réalisable l'analyse céphalométrique et sont de quatre origines :

- Osseuses
- Nerveuses
- Construites
- Artefacts

Parmi les figures que propose l'analyse céphalométrique classique utilisées en orthodontie, toutes ne seront pas adaptées à la détermination du plan d'occlusion et l'angulation des incisives mandibulaire et maxillaire chez l'édenté total.
Il est retenu une liste non exhaustive des principaux repères nécessaires à la recherche du plan d'occlusion [1][20][21].

1.3.1.1 Points osseux

Les points osseux représentent la majorité des points de références adoptés en orthodontie pour l'étude céphalométrique classique. Parmi eux nombreux sont ceux pouvant constituer un apport considérable dans le domaine de l'édentation totale (Fig.5).

Tableau 1 : Points de référence sur une téléradiographie de profil en rapport avec la PAC (Fig.5) [1].

Paramètre	Description du paramètre
Gl	Glabelle / Point le plus antérieur du frontal
Na	Nasion, Point le plus antérieur de l'image de la suture fronto-nasale
S	Centre de la selle turcique
L	Projection orthogonale du point mentonnier le plus saillant
SO	Point le plus élevé de la suture sphéno-occipitale
C	Centre du condyle
So	(Sassouni) rebord sus-orbitaire
Or	Point sous-orbitaire ou point le plus inférieur de l'image du rebord externe de l'orbite
ENA	Pointe de l'épine nasale antérieure
ENP	Pointe de l'épine nasale postérieure
A	Point le plus déclive du rebord alvéolaire supérieur
Pr	Prosthion. Point le plus antérieur du rebord alvéolaire supérieur
Id	Infra-dental. Point le plus antérieur de la symphyse inférieure
B	Point le plus déclive du profil du bord antérieur de la mandibule
Pog	Pogonion. Point le plus antérieur de la symphyse mentonnière

Gn	Gnathion. Intersection du bord antérieur de la mandibule, avec la bissectrice de l'angle plan mandibulaire-plan facial ou milieu entre le point le plus antérieur et le point le plus inférieur de l'image de la symphyse.
Me	Point le plus inférieur de la symphyse mentonnière
D	Centre de la symphyse
Go	Gonion ou point situé à mi-chemin entre la partie postérieure et la partie inférieure de l'angle mandibulaire
Cl	Apophyse clinoïde antérieure
Ro	Point le plus élevé du plafond de l'orbite
Po	Porion. Point le plus élevé du conduit auditif externe

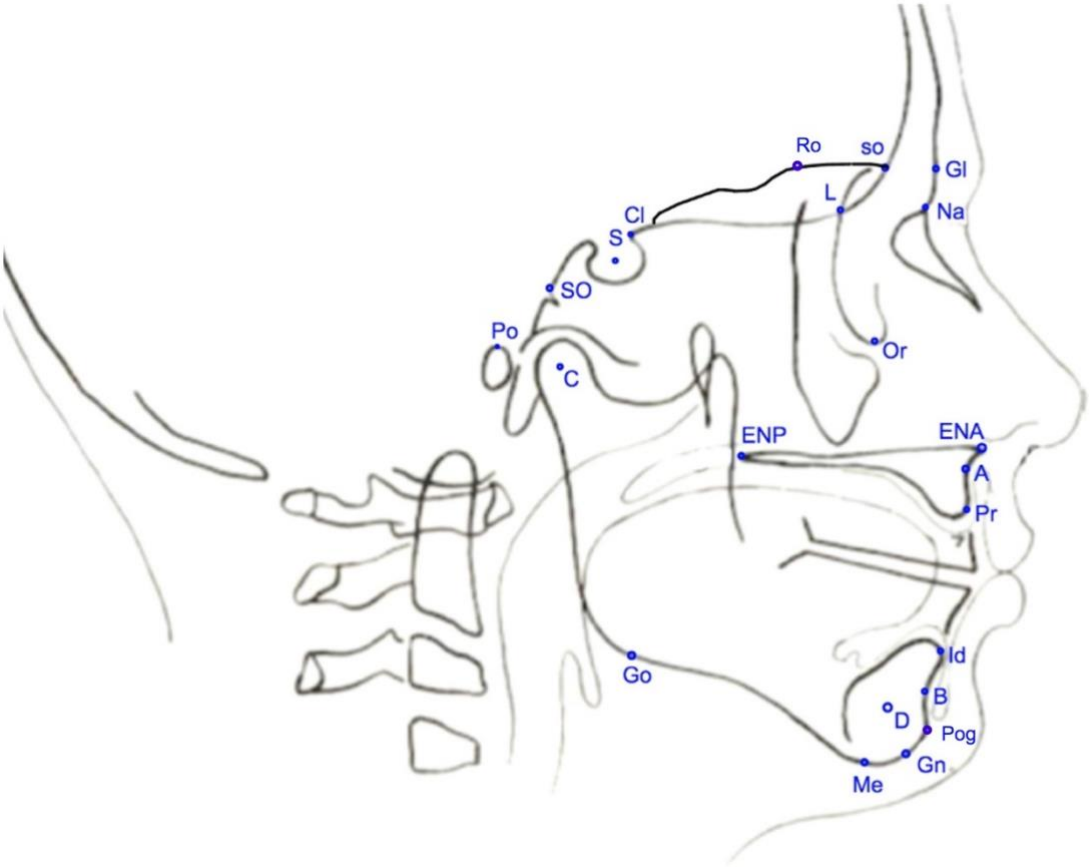

Figure 5: Points de céphalométrie d'intérêt pour l'étude 2D du plan d'occlusion en prothèse amovible complète [1].

Pour localiser le centre du condyle C il faut dans un premier temps annoter les points T1 et T2, respectivement le point supérieur et postérieur les plus saillants du condyle. Puis dans un second temps tracer les rayons perpendiculaires aux tangentes T1 et T2, le point de rencontre de celles-ci est le centre du condyle (Fig.6).

Figure 6: Localisation du point C.[1]

1.3.1.2 Identifier les tissus mous

On trouve aussi des points de repères et des éléments anatomiques à prendre en considération sur les téguments listés et illustrés ci-dessous. L'étude des parties molles vient compléter l'analyse céphalométrique en apportant une meilleure connaissance de la position de la langue.

Tableau 2 : Repères au niveau des tissus mous sur une vue de profil (Fig.7) [22].

Paramètre	Description du paramètre
A	Pogonion cutané
B	Pointe du nez
C	Langue
D	Epiglotte
E et E'	Maquettes supérieures et inférieures
F	Voile du palais

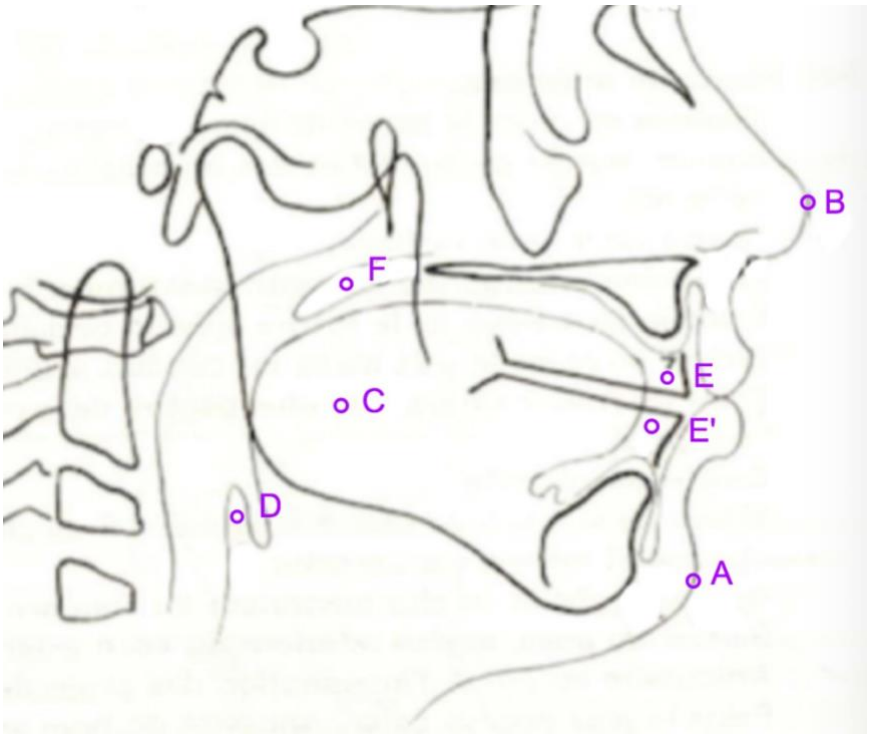

Figure 7: Principaux repères et éléments anatomiques au niveau des tissus mous utiles dans la cadre d'une étude céphalométrique en relation avec la prothèse amovible complète [1].

1.3.1.3 Points nerveux

L'avantage de ces points réside dans leur reproductibilité contrairement aux points osseux qui sont sujets à des remaniements permanents au cours de la vie du patient [23].

Tableau 3 : Les trois points nerveux (Fig.8).

Paramètre	Description du paramètre
NP	Naso-Palatin
ES	Epine de Spix
TM	Trou mentonnier

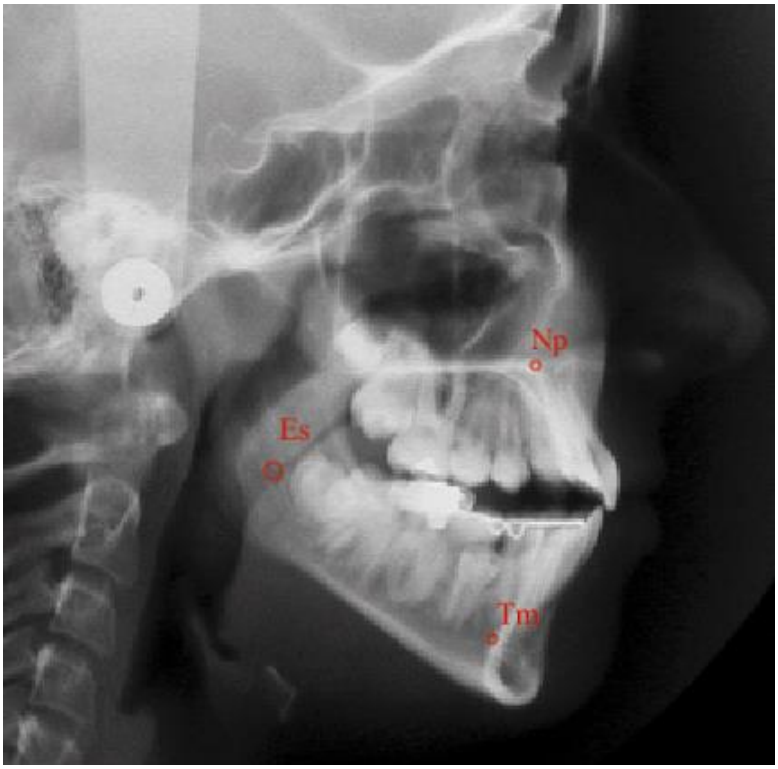

Figure 8: Téléradiographie de M.T. 11 ans 9 mois, annotée avec les points nerveux NP, ES, TM [24].

1.3.2 Plans et courbes

A partir des repères listés ci-dessus on peut construire les plans qui suivent :

Tableau 4 : Plans de référence sur une téléradiographie de profil en rapport avec la PAC (Fig.9) [25][26][27][28][29].

Paramètre	Description du paramètre
Plan de Camper	Ligne cutanée qui court du bord inférieur de l'aile du nez, à la pointe supérieure du tragus de l'oreille
Plan de Francfort	Plan passant par Po et Or
Plan mandibulaire	Plan de Downs, passant par Me et tangent dans la région de l'angle mandibulaire (go)
Plan palatin	Union de l'épine nasale antérieure à l'épine nasale postérieure
S-Na	Plan unissant la selle turcique au nasion
Plan d'occlusion prothétique	Plan passant par la surface occlusalel des bases et Xi (point correspondant au centre du ramus)

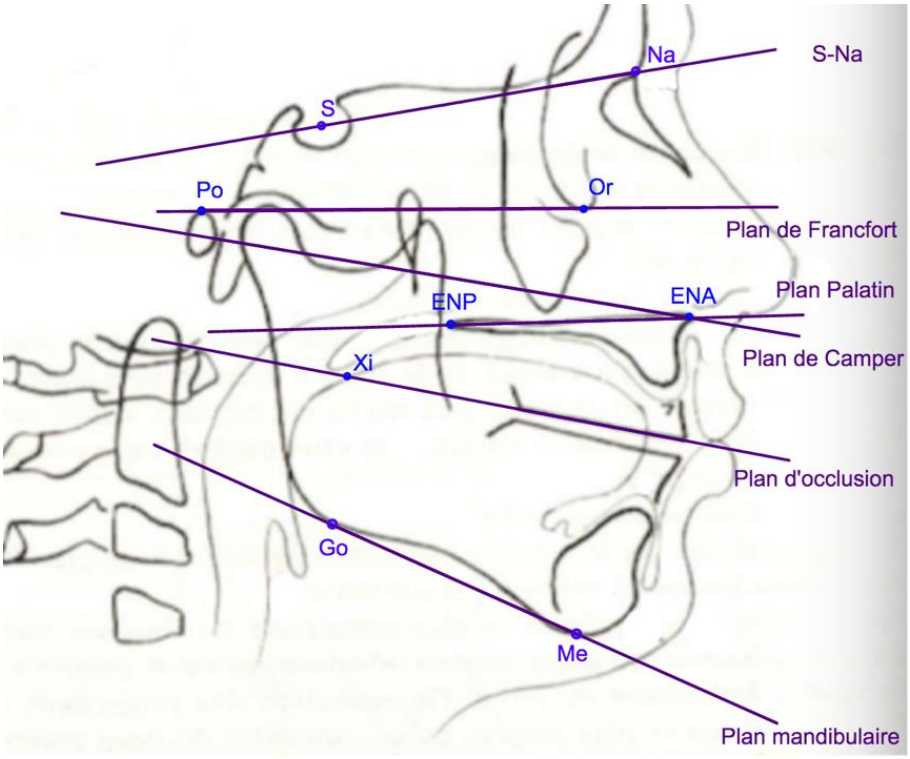

Figure 9: Plans d'intérêt pour l'étude 2D du plan d'occlusion prothèse amovible complète [1].

1.3.2.1 Le plan axio-orbitaire

C'est le plan horizontal de référence en occlusodontie. Le plan axio-orbitaire[7] est représenté par le centre des deux condyles (formant l'axe charnière) et le point infra-orbitaire gauche (par convention) (Fig.10).

Ce plan, simple à mettre en place dans le cadre de la clinique, permet d'évaluer la situation entre les condyles et les faces occlusales des dents. Il est défini par l'émergence cutanée des points condyliens (axe charnière) et le point sous-orbitaire remarquables à la palpation. L'analogue radiographique du PAO est le PHF. C'est un plan très employé en orthodontie et, tracé sur une téléradiographie de profil, celui ci-joint les points supérieurs des conduits auditifs et le rebord sous-orbitaire.

Le PAO est un outil de référence du fait de sa concordance entre la clinique et l'imagerie [18][30][31][32][33].

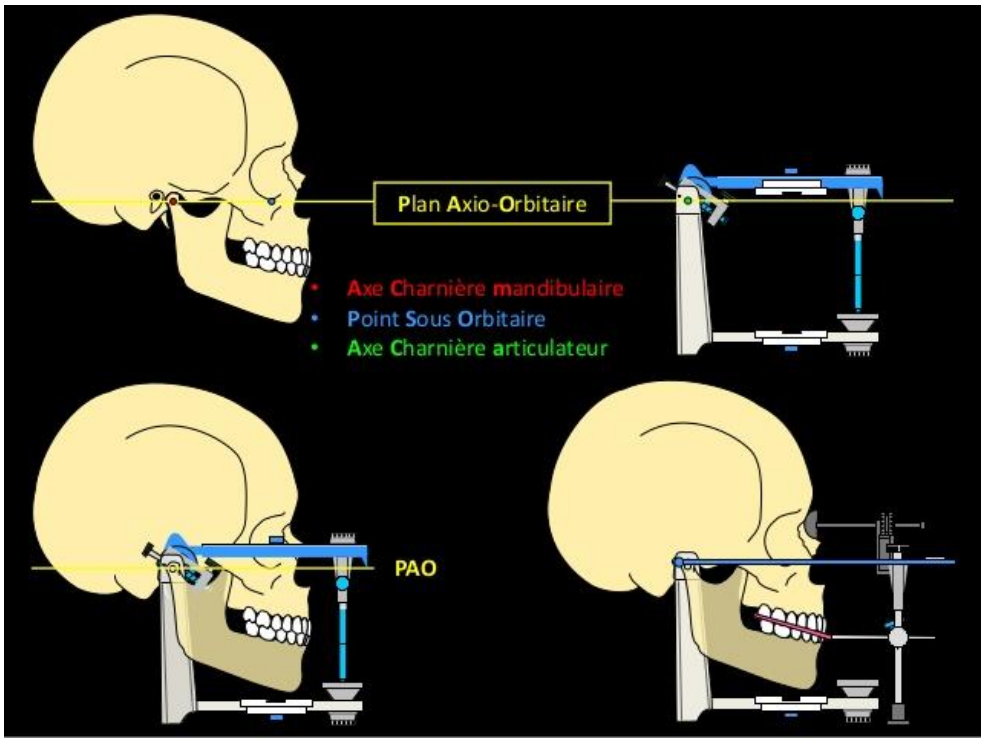

Figure 10: Représentation du plan axio-orbitaire chez le patient, sur l'arc facial et l'articulateur [34].

[7] PAO : Plan Axio-Orbitaire

1.3.2.2 Le plan de Francfort

Plan établi lors d'un congrès d'anthropologie en 1882 et validé en 1906 lors de l'unification des mesures crâniométriques et céphalométriques. Il se construit sur une radiographie de profil.

Ce plan crânien d'orientation horizontale joint le bord supérieur du conduit auditif externe au point le plus déclive du plancher orbitaire (Fig.11).

Néanmoins, contrairement à ce qui est dit dans le point sur le PAO, le PHF n'est donc pas tout à fait analogue au PAO et décrit en moyenne un angle de 7° avec celui-ci [11][35][31][32][33].

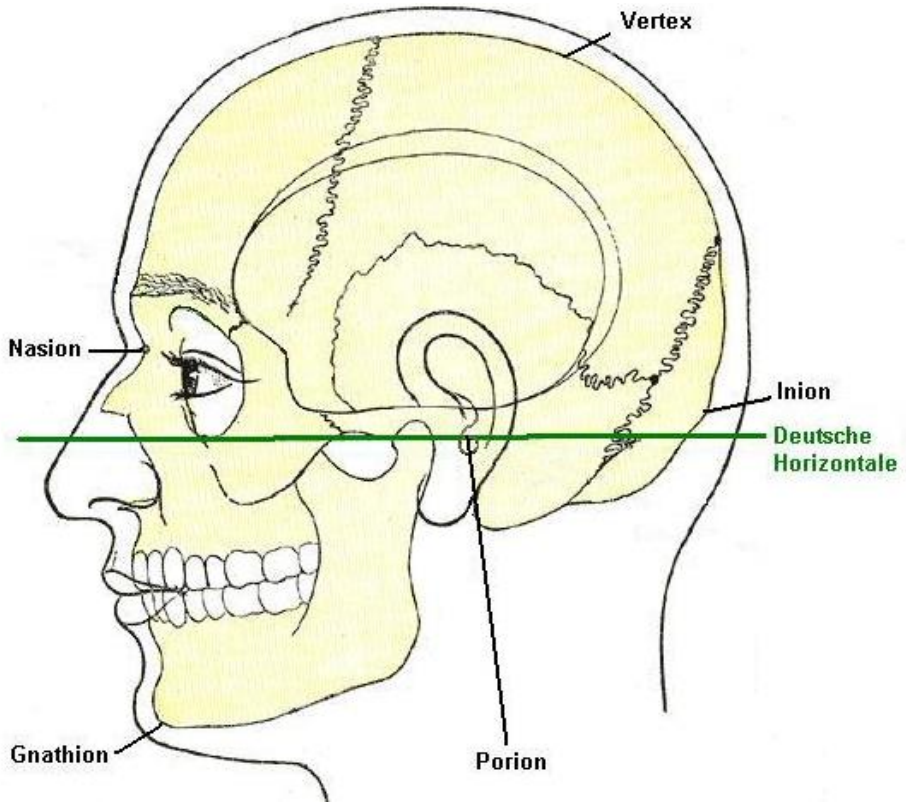

Figure 11: Schéma du crâne de profil. Le plan de Francfort (ou "Deutsche Horizontale") est représenté en vert [37].

1.3.2.3 Le plan incisif

Le plan incisif aussi appelé « courbe des bords incisifs » ou « plan esthétique » correspond à la partie antérieure du plan d'occlusion et est représenté par une « courbe » convexe occlusalement, peu marquée qui passe par l'ensemble des bords libres des incisives mandibulaires.

La découpe des bords libres et la configuration de ce plan impacte fortement la variété et la composition du sourire et doit idéalement épouser la concavité naturelle de la lèvre inférieure pendant le sourire pour obtenir un sourire gracieux (Fig12).

Par ailleurs « cette courbe se prolonge en arrière et sans dénivellation par le plan d'occlusion postérieur et est parallèle aux lignes de références horizontales (ligne bi-pupillaire, ligne commissurale) chez environ 85% de la population » selon une étude de *Tjan et coll* [38].

Cependant il faut prendre en compte l'usure des bords libres en fonction de l'âge et la typologie de l'individu qui amène le plan esthétique à tendre vers une courbe à concavité coronaire [39][40][41][42]

.

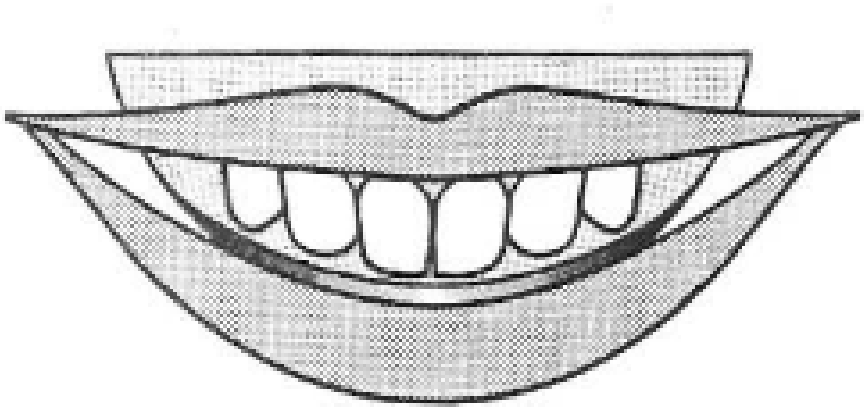

Figure 12: Orientation du plan incisif respectant la courbure des lèvres [1].

1.3.2.4 Le plan d'occlusion

Il existe plusieurs manières de définir le plan d'occlusion selon le domaine concerné : anatomique, occlusodontique, céphalométrique, prothétique.

Du point de vue anatomique c'est le champ d'affrontement des 2 arcades dentaires antagonistes en articulation dento-dentaire (défini par des auteurs tels que *Murphy et Lautrou*) [44]. Il ne s'agit pas d'un « plan » d'occlusion mais d'une surface virtuelle, un plan imaginaire déterminé par la tangente aux bords incisifs et aux pointes cuspidiennes des prémolaires et molaires de chaque maxillaire. C'est une courbe moyenne des surfaces occlusales qui forme une hélice. Ce plan n'existe qu'en denture lactéale car les courbures de compensation arrivent plus tard (Fig.13). On y retrouve les courbes de Spee (courbe de compensation sagittale chez le denté) et Wilson (courbe de compensation frontale chez le denté) [45][32].

En prothèse amovible le plan d'occlusion prothétique est défini comme la surface sur laquelle doivent s'agencer les dents artificielles afin d'obtenir l'occlusion statique et dynamique [46]. Le principe d'occlusion englobe les concepts de stabilité et de régularité [22][47][29]. Ce « plan » joue un rôle primordial dans l'adaptation des fonctions, la somatisation et la proprioception des structures buccales. Il est nécessaire de prendre en compte la dynamique pour expliquer l'anatomie fonctionnelle du plan d'occlusion.

Une erreur de détermination du plan d'occlusion peut être un élément d'échec dans la construction d'une PAC [16].

1 : plan de Francfort

2 : plan de Camper

3 : plan d'occlusion

4 : plan mandibulaire

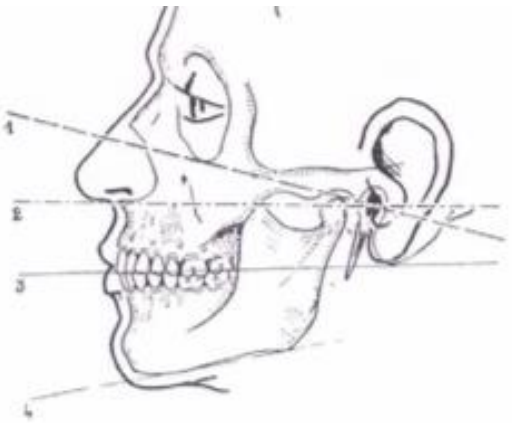

Figure 13: Principaux plans de référence [1].

1.3.3 Courbes et sphère

1.3.3.1 La courbe de Spee

Décrite pour la première fois par l'allemand *Ferdinand von Spee* (1855-1937), cette notion découle de la théorie de la sphère développée par *George Monson*.

C'est une courbe à concavité supérieure projetée dans le plan sagittal joignant le sommet de la cuspide de la canine mandibulaire et les pointes cuspidiennes vestibulaires des prémolaires et molaires mandibulaires jusqu'à l'axe charnière. La courbe de Spee se poursuit en arrière par le bord antérieur du ramus et se termine au bord antérieur du condyle de la mandibule (Fig.14).

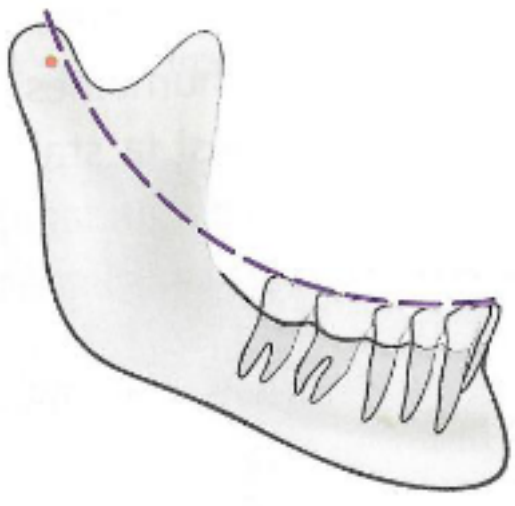

Figure 14: Représentation graphique de la courbe de Spee [48].

Pour *Spee* ce modèle géométrique est le plus pertinent car il conserve le plus grand nombre de contacts dentaires et est donc le plus adapté comme référence lors des reconstructions dentaires.

Pour estimer le rayon de la courbe de Spee une méthode a été mise au point par Orthlieb qui utilise des gabarits de demi-cercles de rayons différents pour évaluer la meilleure valeur de cette courbe [49][48][50][31][51] .

1.3.3.2 La courbe de Wilson

Cette courbe a initialement pour objectif l'observation des courbes occlusales dans le plan frontal, mais elle a également un rôle de compensation associé au recouvrement vestibulaire des molaires permettant un glissement harmonieux des arcades maxillaire et mandibulaire entre elles.

La courbe de Wilson est définie dans le sens transversal par une courbe à concavité supérieure qui fait la liaison entres les cuspides des dents postérieures mandibulaires (Fig.15).

Elle passe par les pointes cuspidiennes vestibulaires et linguales des dents pluricuspidées.

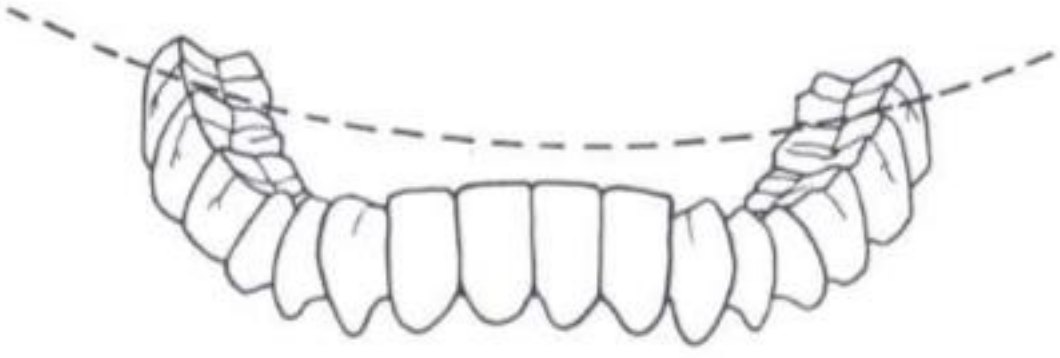

Figure 15: Représentation graphique de la courbe de Wilson [45].

A chaque couple de dents homologues correspond sa courbe de Wilson. Il n'existe pas une mais des courbes de Wilson dont la concavité augmente à mesure que l'on progresse en direction de la deuxième molaire maxillaire.

Selon la théorie de la sphère, le centre de ces courbes se joint en un point représenté par l'apophyse de la crista galli (i.e : c'est un processus médian supérieur de l'os ethmoïde. C'est une apophyse verticale située dans le plan sagittal. Elle constitue, avec la lame perpendiculaire de l'os ethmoïde, la lame verticale de l'os ethmoïde) [52].

Il existe, comme vu pour la courbe de Spee, une évaluation de celle-ci par des gabarits de cercle ou des constructions géométriques de cercle dont le centre est

donné par la relation entre les deux segments issus des lignes représentant l'orientation des tables occlusales [48][53][54].

1.3.3.3 La sphère de Monson

C'est Monson qui a établi la « théorie de la sphère » (citée dans les points concernant les courbes de Spee et de Wilson) selon laquelle la courbe d'occlusion idéale des dents de l'arcade mandibulaire suit la surface d'une sphère. Chaque cuspide et bord incisif est en contact avec la périphérie de cette sphère. Son rayon est approximativement de 10,4 cm, localise en son centre l'apophyse de la Crista Galli et allie les courbes de Spee et Wilson (Fig.16) [55][56][31].

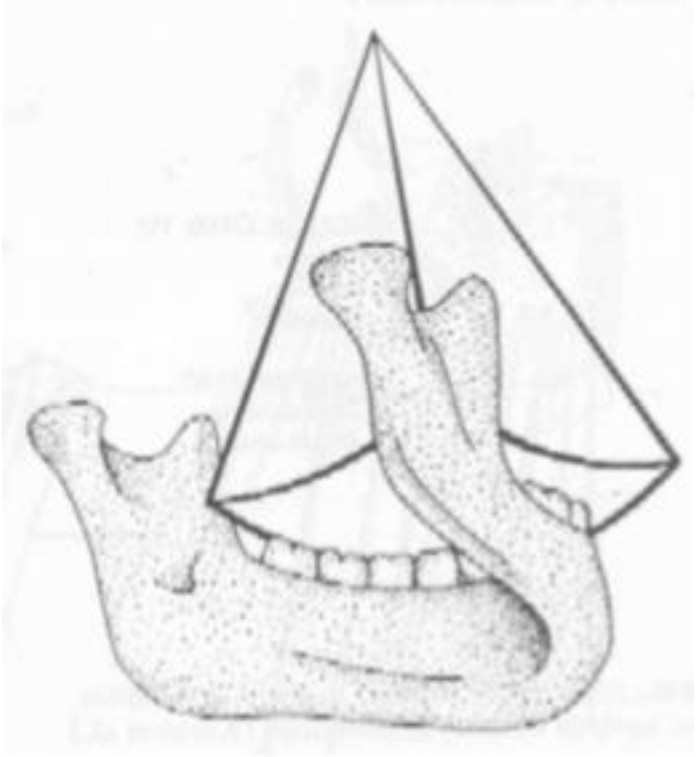

Figure 16: Schéma de la sphère de Monson [55].

2 Le flux 2D

La conception et la réalisation des PAC via des techniques numériques est déjà possible mais n'en est encore qu'à ses balbutiements et fait face à de nombreuses limites qui rendent encore le passage par des méthodes cliniques conventionnelles obligatoire.

En amont de cette recherche approfondie en matière de réalisation numérique des PAC se trouve une prise de conscience des praticiens et des prothésistes sur la nécessité d'améliorer la prise en charge des patients édentés totaux alliée à des résultats prometteurs de la dentisterie numérique.

Quelques systèmes et autres outils existent actuellement, spécialisés dans la prise de RIM tels que les logiciels Wieland Digital Denture et Avadent Digital Denture, mais ils reposent encore sur de nombreuses étapes cliniques au fauteuil.

2.1 Matériel et méthode

Ce travail est une approche d'étude de faisabilité de la détermination en 2D du plan d'occlusion sur les patients édentés totaux réalisée au Centre Hospitalo-Universitaire de Lille au sein du service d'Odontologie.
Afin d'éviter toutes interprétations les vérifications sont faites par le même praticien expert.
Plusieurs étapes cliniques et théoriques sont mises en place.

Étape 1

Choix et sélection du patient : édenté bi-maxillaire indépendamment du sexe et de l'âge.
Réalisation de toutes les étapes prothétiques jusqu'à la maquette d'occlusion qui doit être réglée et validée.
Celles-ci seront composées d'une base ou « plaque-base » en résine photopolymérisable et d'un bourrelet d'occlusion en pâte thermoplastique dure type Stent's ®. Leur forme et leur volume est prédéfini par le laboratoire et est

réglé en bouche par le praticien en fonction des données physiologiques du patient.
La base maxillaire est réglée en clinique à l'aide du plan de Fox [57].

Le plan de Fox est un dispositif qui permet de régler la hauteur et l'inclinaison du bourrelet d'occlusion de la maquette maxillaire.

Lorsque le dispositif est appliqué en bouche, il matérialise en extrabuccal le plan du bourrelet pour vérifier le parallélisme [28][18][43][58] :

- Dans le sens frontal de la partie antérieure du plan d'occlusion et la ligne bi-pupillaire (mis en évidence par l'intermédiaire d'une réglette métallique)
- Dans le sens sagittal de la partie postérieure plan d'occlusion et le plan de Camper

La matérialisation du plan d'occlusion réglé se fait :

- Soit par enduction avec un produit radio-opaque de la surface occlusale des bourrelets d'occlusion
- Soit par des repères métalliques (titane) disposés sur la surface des bourrelets. Trois minimums (un antérieur et deux postérieurs, droit et gauche) seront requis pour pouvoir tracer le plan d'occlusion prothétique.

Ces éléments apparaissent radio-opaque sur le cliché radiographique.

Les mesures céphalométriques permettront dans un premier temps de trouver la position et l'orientation du plan d'occlusion théorique et idéal sur un cliché radiographique.
Dans un deuxième temps de valider le réglage des bases d'occlusion tant au niveau hauteur et orientation.

Étape 2

Réalisation du cliché de téléradiographie du patient de face et de profil, avec et sans les bases et d'un CBCT avec les bases.

Étape 3

Réalisation des tracés de céphalométrie sur les clichés réalisés sur Mesurim 2.
On suivra les méthodes des points nerveux de Danguy pour trouver le plan d'occlusion idéal et la méthode de Sassouni pour évaluer la DVO théorique [1][23][59][60].

Étape 4

Il convient de vérifier la concordance des données précédemment récoltées avec les calculs et tracés effectués.
Dans un premier temps on vérifie si les tracés passent par les repères radio-opaques du bourrelet.
Dans un second temps il est possible de comparer les repères cliniques des bourrelets et les tracés avec la méthode de Xi de Ricketts.

La réussite de ce test est confirmée par une :

- Adéquation du plan d'occlusion au tracé théorique selon Danguy et le plan d'occlusion clinique
- Concordance entre la référence Xi de Ricketts et le plan d'occlusion tracé selon Danguy.
- Validation clinique par le praticien et le patient de la prothèse et son plan d'occlusion selon les mesures céphalométriques faites dans l'étude.

2.2 Les points céphalométriques retenus

L'analyse céphalométrique est établie en reportant les points osseux des références sur des calques apposés aux téléradiographies de face et de profil. Ces points sont reliés entre eux pour définir des plans, et des angles. Ceux-ci peuvent alors être mesurés, comparés et répertoriés pour des études ou dans le but d'établir des normes et des valeurs moyennes statistiques. Ces mesures servent, entre autres, à déterminer l'angulation idéale des incisives et du plan d'occlusion d'un patient édenté complet [61].

Un nombre considérable de méthodes d'analyse et d'applications pratiques sont et ont été proposées par l'orthodontie. Certaines s'avèrent intéressantes à étudier par leur implication dans l'établissement d'un diagnostic et du plan de traitement de l'édenté total [1].

2.2.1 Analyse de Danguy

Ces points nerveux ou plus exactement « points osseux d'émergence nerveuse » sont tirés de l'analyse de Danguy. Cette étude porte sur la dimension verticale dento-alvéolaire en s'appuyant sur trois points [23] :

- Es : Epine de Spix
- Tm : Trou mentonnier
- Np : Naso-palatin

Qui permettent alors le tracé des droites suivantes :

- Es – Tm
- Es – Np

Selon la théorie de Danguy la bissectrice de l'angle Tm – Es – Np passe par le rebord incisif maxillaire (en orthodontie elle est utilisée pour donner des informations quant à la présence d'une infra-alvéolie ou supra-alvéolie). Le bord incisif mandibulaire doit se trouver sur la ligne représentée par la limite antérieure de Ricketts (A – Pog) et 2 mm au-dessus de la bissectrice de l'angle Tm – Es – Np (en orthodontie il permet de donner les mêmes informations que précédemment). Le plan d'occlusion est tracé en reliant le point du bord incisif mandibulaire idéal et le point d'intersection du plan bispinal avec le plan mandibulaire. Les faces occlusales des premières molaires se situent théoriquement sur ce plan (Fig.23) [23].

➔ **Méthode résumée pour trouver théoriquement le plan d'occlusion idéal par céphalométrie :**

- **Étape 1** : Évaluer la DV du patient édenté à l'aide de l'étude de Sassouni sur une téléradiographie de profil, des maquettes d'occlusion validées, des anciennes prothèses adaptées ou des cales en silicone. Puis prendre les téléradiographies du patient avec la nouvelle DV en place.

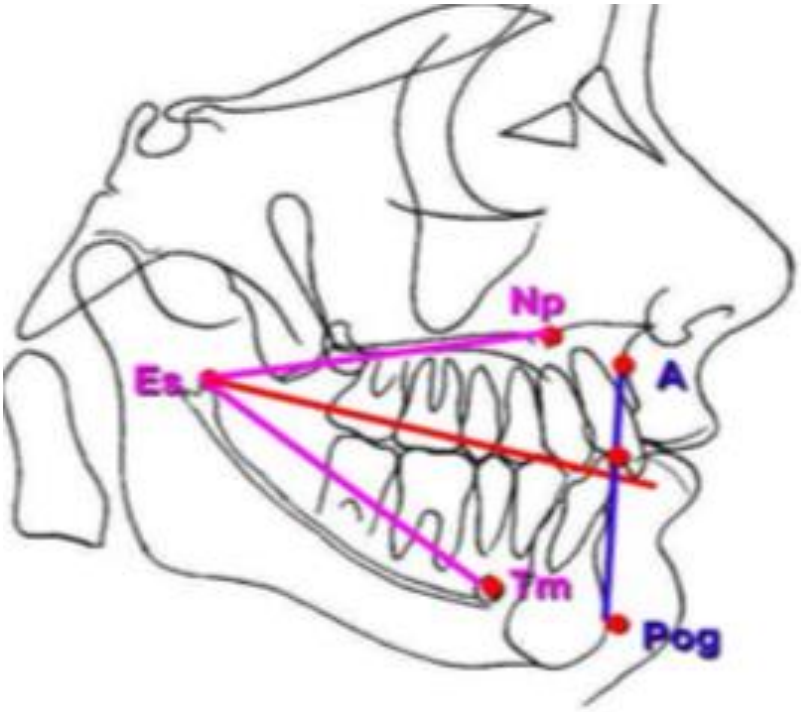

Figure 17: Étapes 2 à 5 du tracé du plan d'occlusion par céphalométrie [23].

- **Étape 2** : Marquer sur la téléradiographie de profil du patient les points Naso-Palatin (**NP**), Epine de Spix (**ES**) et Trou mentonnier (**TM**)
- **Étape 3** : Tracer les droites **NP-ES** et **ES-TM**
- **Étape 4** : Tracer la Bissectrice de l'angle formé par **NP-ES-TM°**
- **Étape 5** : Tracer la droite **A-Pog**

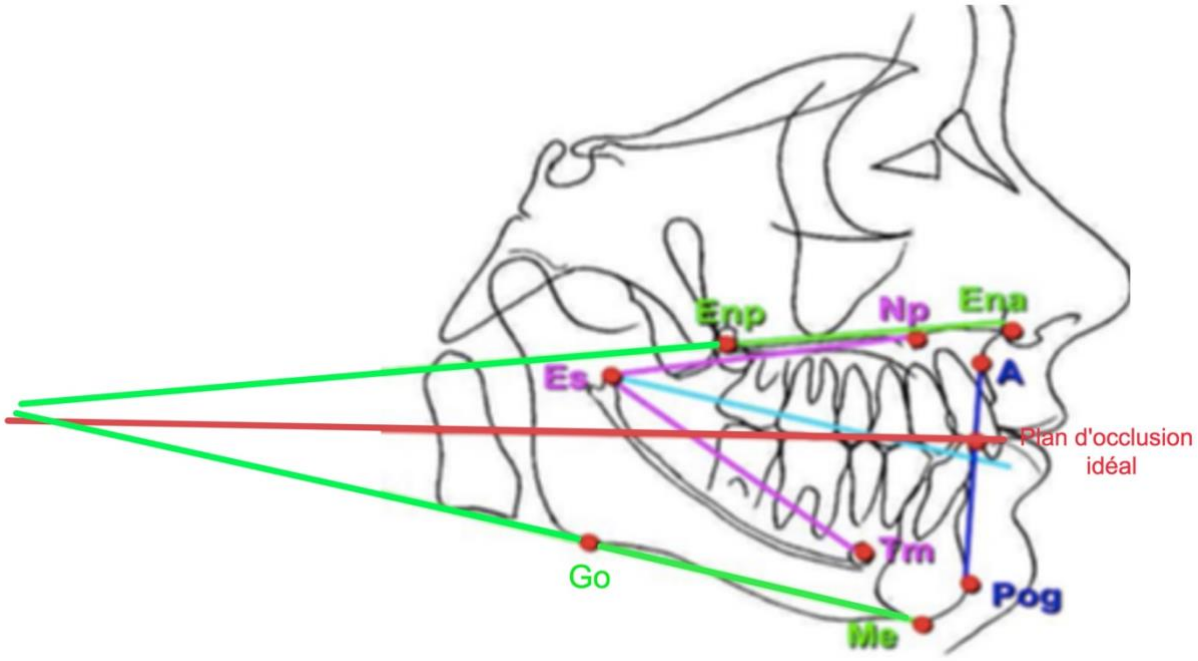

Figure 18: Étapes 6 à 8 du tracé du plan d'occlusion par céphalométrie [23].

- **Étape 6 :** Tracer le **point incisif inferieur**. Il représente l'idéal de la position du bord libre incisif au niveau de la verticale **A-Pog** et se situe 2mm au-dessus de l'intersection entre **A-Pog** et la **bissectrice** de **NP-ES-TM°**
- **Étape 7 :** Tracer le Plan mandibulaire (**Me-Go**) et le Plan palatin (**Enp-Ena**)
- **Étape 8 :** Tracer la droite reliant l'intersection du plan Mandibulaire, Palatin et le point incisif : c'est le **plan d'occlusion idéal**

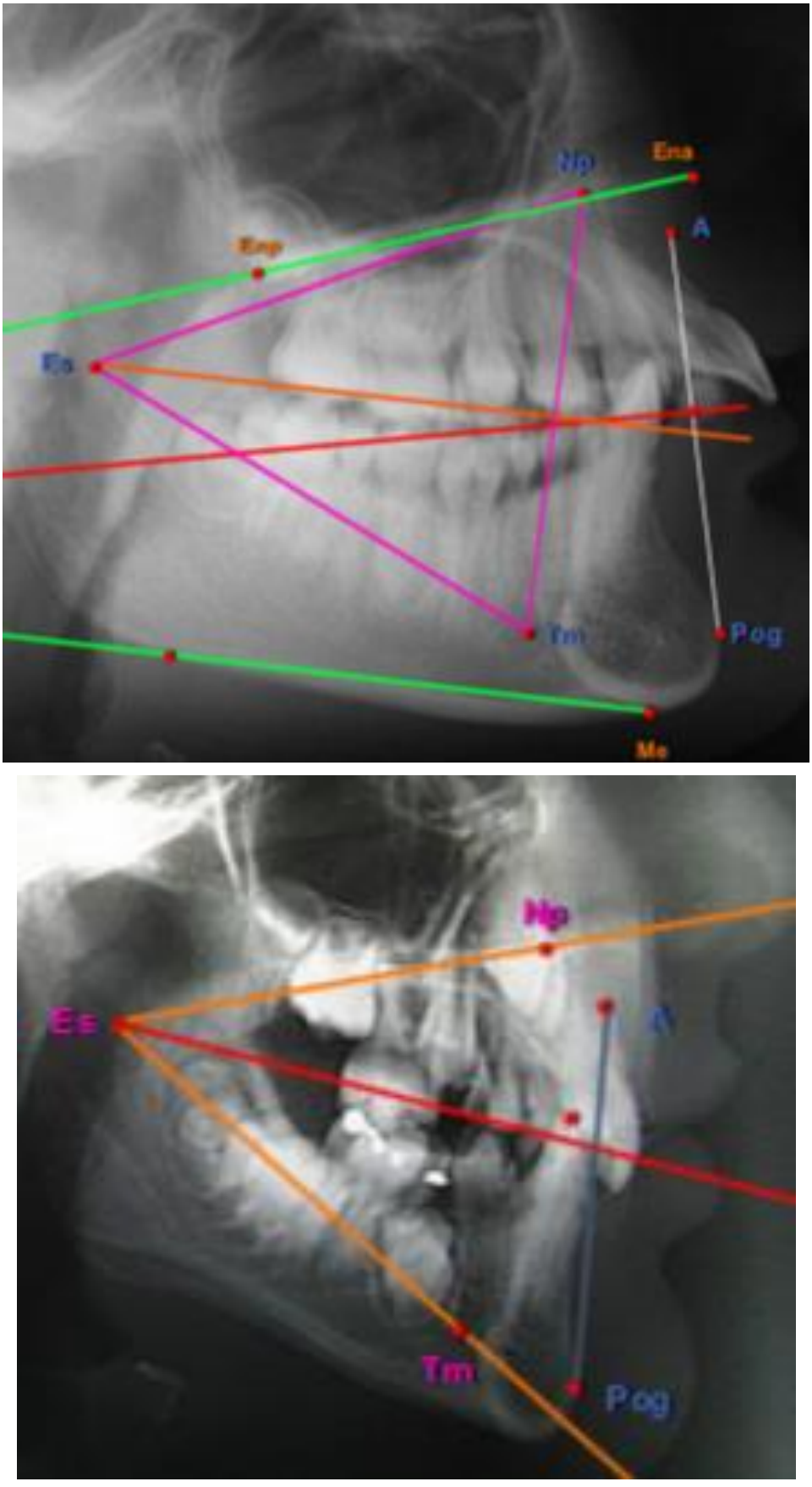

Figure 19: Exemples de l'application de la méthode de Danguy sur une téléradiographie de profil d'un patient denté [23][21][59].

2.2.2 Analyse de Sassouni

L'analyse de Sassouni est une analyse céphalométrique 2D structurelle, antéro-postérieure et verticale. La méthode a été basée sur un échantillon de cent films d'enfants de 7 à 15 ans d'origine méditerranéenne (51 filles et 49 garçons). Des tracés standards ont été établis pour les âges de 4, 8, 12 et 16 ans, pour des sujets caucasiens. A l'inverse des précédentes méthodes analytiques celle-ci n'emploie plus de valeurs absolues. Elle repose sur le concept de « relation harmonieuse » entre les différents éléments diagnostiques que sont les structures faciales. Cette analyse est réalisée à l'aide d'un film de profil et de face du patient sur lesquels sont tracés des arcs de cercle centrés sur le point de convergence d'un plan tangent à la base du crâne et du plan mandibulaire. Les structures faciales sont étudiées en fonction de ces arcs [1][26][60].

Tableau 5 : Éléments de diagnostics céphalométriques sur une vue de profil selon Sassouni (Fig.17).

Paramètres Mesurés	Description des paramètres
Si	Point le plus inférieur de la selle turcique
Sp	Point le plus postérieur de la selle turcique
Cl - Ro	Plan supra-orbitaire passant par le point le plus élevé de l'orbite (Ro) et tangent au processus clinoïde antérieur (CL)
Plan base du crâne	Plan parallèle au plan supra-orbitaire passant par Si
Point O	Centre O, point de convergence médian des plans de la base du crâne, palatin, occlusal, mandibulaire. Centre de d'un cercle de 15 mm de diamètre dans lequel se croisent les quatre plans.

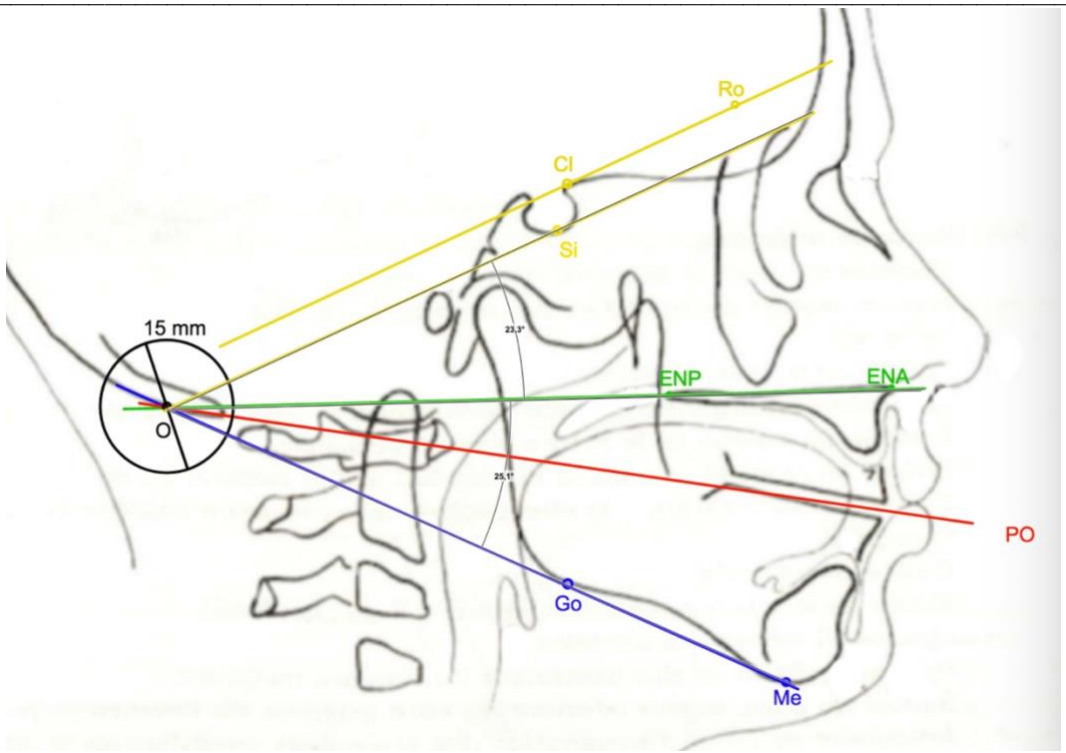

Figure 20: Analyse de Sassouni. Tracé des plans passant par le cercle de centre O et de diamètre 15mm [1][26][60].

Selon Sassouni l'harmonie des structures est démontrée si les relations suivantes sont mises en évidence (Fig.18) [22][60] :

- Une égalité des angles entre plan base du crâne – plan palatin et angle plan mandibulaire – plan palatin
- Une égalité des distances par rapport au centre O de :
  - ➔ O.ENA = O.Po = O.bord incisif supérieur
  - ➔ OA = OB
  - ➔ O.Sp = O.Go

En découlent cinq grands cas de figures décrivant différents profils :

- Le profil normal ou « ARCHIAL » est représenté par un Arc de cercle de Centre O et de rayon O.N passant par l'épine nasale antérieure, le pogonion et la projection orthogonale du point mentonnier le plus saillant.
- Des profils préarchial, postarchial, convexe ou concave.

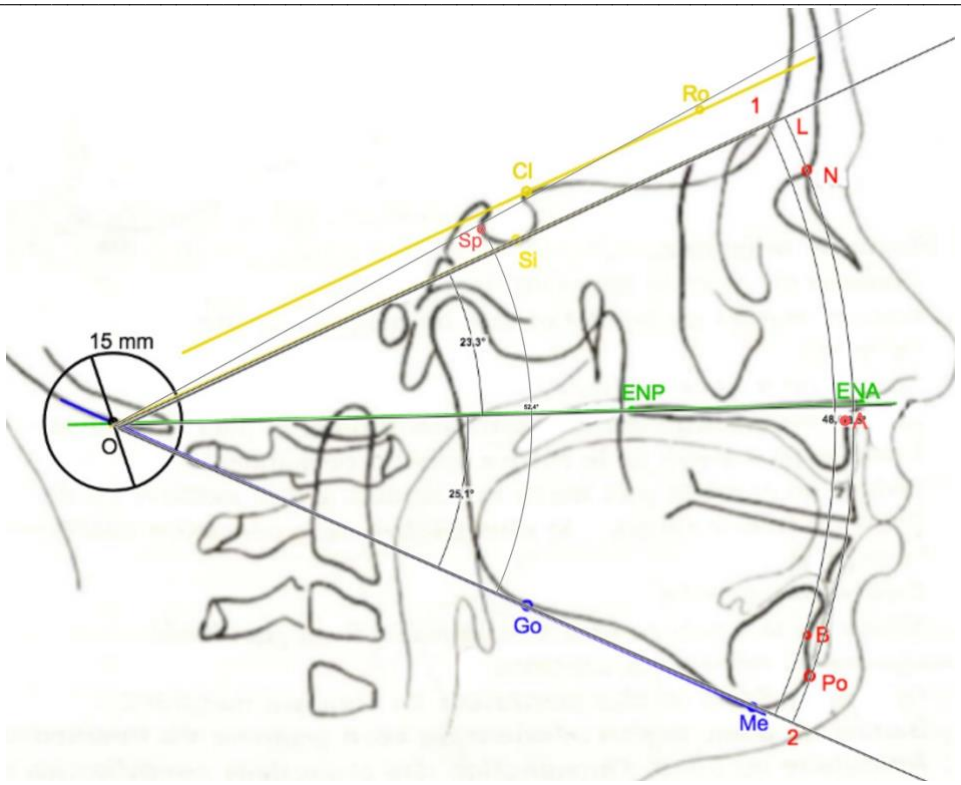

Figure 21: Tracé des plans passant par le cercle de centre O et de diamètre 15mm et de l'arc antérieur L.N.ENA.PO et basal A.B [1][26][60].

2.2.3 Analyse de Ricketts

Les travaux de Ricketts dans le domaine de la céphalométrie ont déjà été utilisés pour définir la « ligne esthétique de Ricketts ». Ce concept vise à rétablir une relation harmonieuse entre le nez, les lèvres et le menton. Évaluée à l'origine avant d'entreprendre un traitement orthodontique, cette ligne est employée en PAC pour définir le type de profil du patient (Concave, Convexe ou normal). Ceci influence le montage esthétique des dents sur la prothèse [22].

Parmi ces travaux celui sur le point Xi nous intéresse plus particulièrement. Ce point, représente le centre géométrique du ramus situé au niveau de l'épine de Spix et est considéré comme situé sur le plan d'occlusion. Il peut donc être utilisé en PAC comme aide à la localisation du plan d'occlusion (Fig.19 et 20) [62].

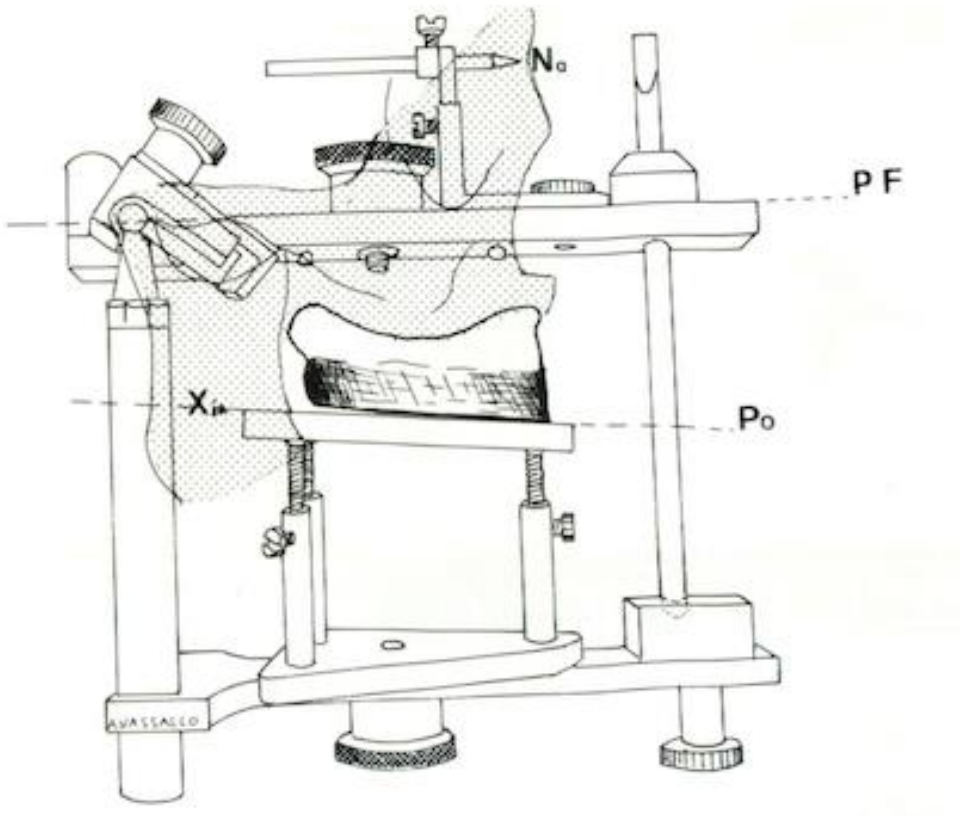

Figure 22: Mise en place et réglage de la table d'orientation du plan d'occlusion prothétique [1].

Ici PF correspond au Plan de Francfort, Po au plan d'occlusion et Na au Guide nasiaque. Le plan d'occlusion défini par la table de montage de l'articulateur passe par le point imaginaire Xi (Fig.19).

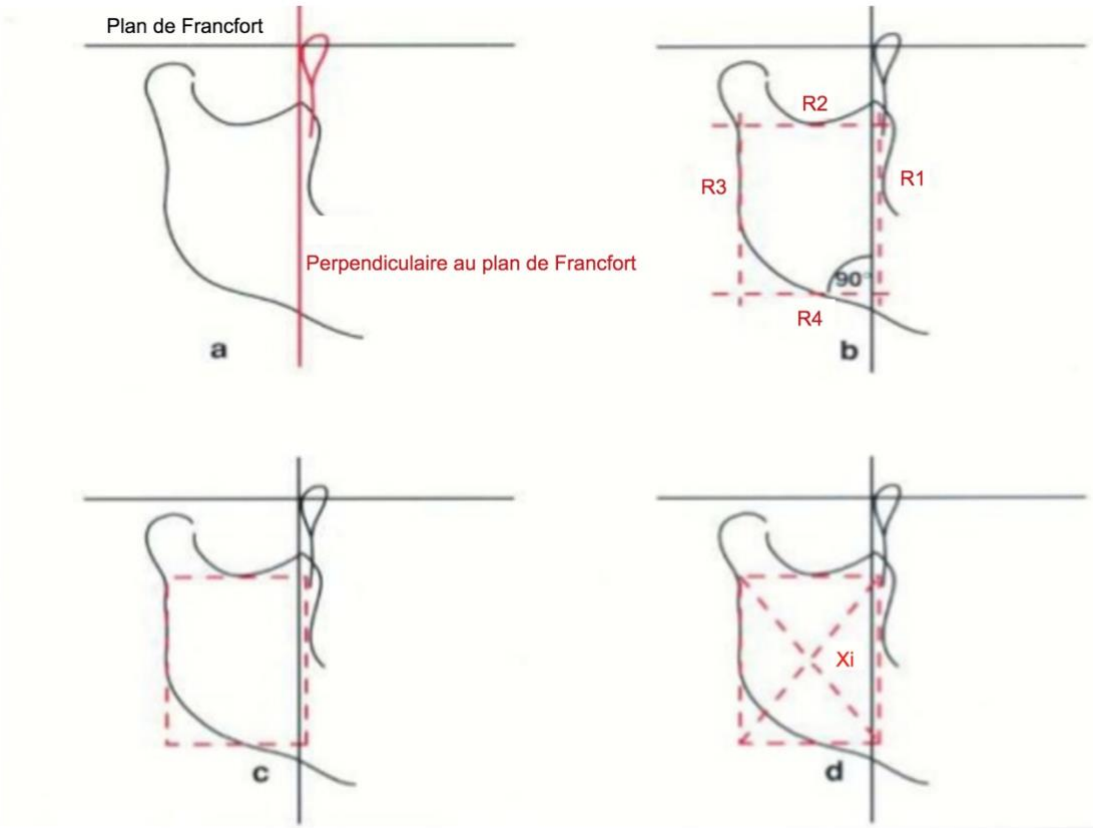

Figure 23: Étapes de localisation du point Xi de Ricketts [63].

*Légende : **a**= Tracer du plan de Francfort et de sa perpendiculaire*

***b**= Tracer des points R1, R2, R3, R4 **c**= Tracer du rectangle*

***d**= Tracer des diagonales et détermination de Xi*

Il nécessite une construction en plusieurs étapes, la première étant de tracer les 4 points, R1, R2, R3, R4 (Fig.20) :

- R1 est le point le plus déclive de la concavité du bord antérieur de la branche montante
- R2 est le point le plus déclive de l'échancrure sigmoïde
- R3 est le point opposé à R1 sur le bord postérieur de la branche montante
- R4 est le point opposé à R2 situé sur le rebord basilaire
- Xi est le centre du rectangle déterminé par R1, R2, R3, R4

Grace à eux on peut dessiner le rectangle mandibulaire en traçant successivement la perpendiculaire à PHF passant par R3, la parallèle au PHF

issue de R2, la parallèle à PHF passant par R4, et la perpendiculaire au PHF passant par R1. En résulte un rectangle à l'intérieur duquel il faut tracer les diagonales où en leur point de rencontre se situe le point Xi.

Le plan d'occlusion relie le milieu d'intercuspidation des premières prémolaires et ne tient pas compte du recouvrement incisif. Il passe légèrement sous le point Xi et est pratiquement parallèle au PHF et au plan Palatin :

➔ Dans le sens Sagittal :

L'inclinaison du plan d'occlusion par rapport à l'axe du corps mandibulaire et de la droite Xi-Pm (point mentonnier) est d'environ 20° (baisse avec l'âge) et la distance Xi-PO est positive si le plan d'occlusion passe au-dessus de Xi et négative s'il passe dessous, avec l'âge le plan d'occlusion se parallélise à lui-même.

➔ Dans le sens Frontal :

L'inclinaison du plan d'occlusion est dépendante du Plan Orbito-Frontal et il en est parallèle [9]. En prothèse adjointe totale, le point Xi de RICKETTS est utilisé comme un déterminant postérieur lors de la reconstruction de la ligne d'occlusion prothétique.

2.3 Cas cliniques

Madame M édentée totale bi-maxillaire répondant aux critères de sélection. Les étapes prothétiques et les clichés radiologiques ont été réalisés à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Lille.

Nous avons réalisé cette étude après réalisation et validation de l'étape de réglage des bourrelets maxillaire et mandibulaire.

➔ Trois clichés ont été réalisés (Fig.24, 25) :

- Une **téléradiographie** de profil **avec les bases d'occlusion** en bouche

Figure 24 : Image de la téléradiographie de profil de la patiente avec les bases d'occlusion en bouche.

- Une **téléradiographie** de profil **sans les bases d'occlusion** en bouche

Figure 25 : Image de la téléradiographie de profil de la patiente sans les bases d'occlusion en bouche.

- Un **CBCT avec les bases d'occlusion** en bouche

Ces clichés ont été transférés sur Mesurim2, site internet permettant d'effectuer les tracés et les mesures nécessaires à nos analyses. Les résultats obtenus sont les suivants :

2.3.1 Application de la méthode de Danguy

2.3.1.1 Téléradiographie de profil avec les bases d'occlusion en bouche

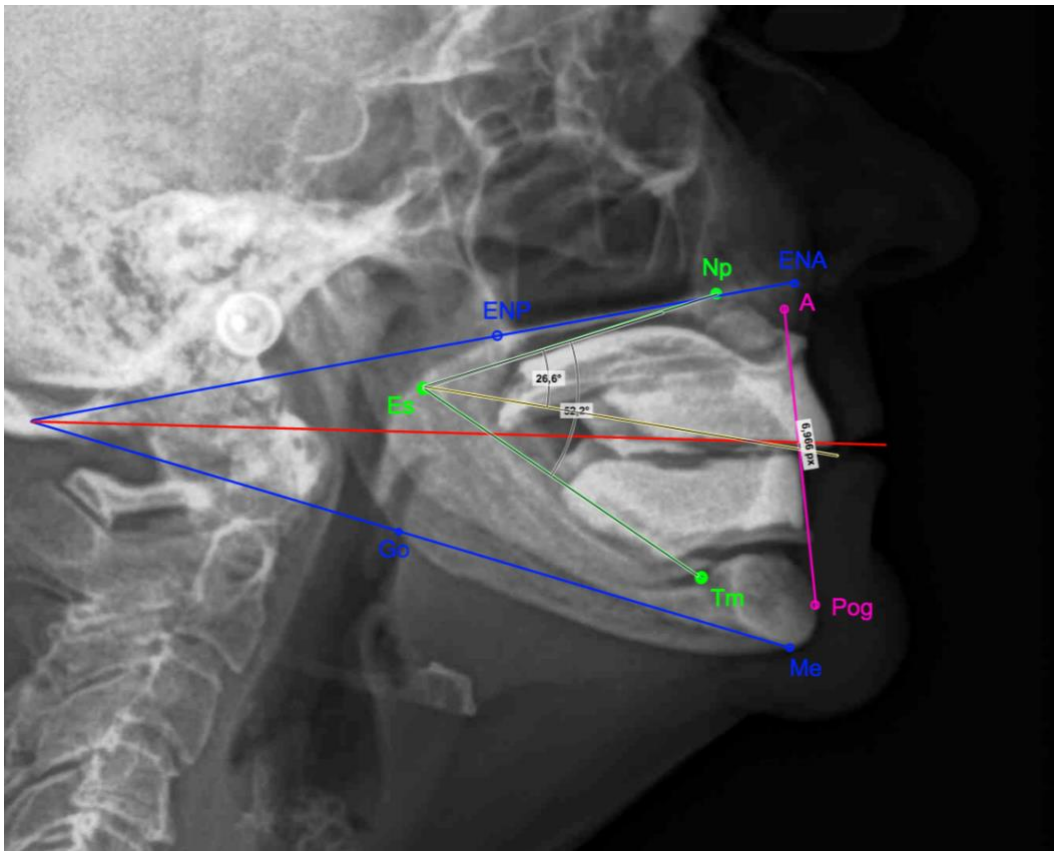

Figure 26: Tracés de l'analyse de Danguy sur la téléradiographie avec les bases d'occlusion réglées en bouche.

*Légende : En **vert** : **Np-Es-Tm** = Points nerveux ; En **jaune** : **Bissectrice** de l'angle **Np-Es-Tm** ; En **violet** : Droite **A-pog** ; En **bleu** : **ENP-ENA, Go-Me** = Plan palatin, plan mandibulaire ; En **rouge** : **PO** = Plan d'occlusion.*

Sur ce cliché on peut observer que le plan d'occlusion théorique semble passer par le plan d'occlusion clinique situé sur la face occlusale du bourrelet maxillaire et par la lèvre supérieure. Celui-ci semble être parallèle au plan occlusal des bourrelets d'occlusion travaillés en clinique (Fig.26).

Si le plan d'occlusion prothétique et le plan d'occlusion obtenu avec l'analyse de Danguy coïncident, il diffère de la règle expliquée par Lejoyeux dans laquelle le

plan d'occlusion prothétique doit se situer 2mm sous le bord libre de la lèvre inférieure [1].

Cependant ce critère est subjectif car il doit tenir compte du type morphologique du patient et du tonus musculaire entre autres.

2.3.1.2 Téléradiographie de profil sans les bases d'occlusion en bouche

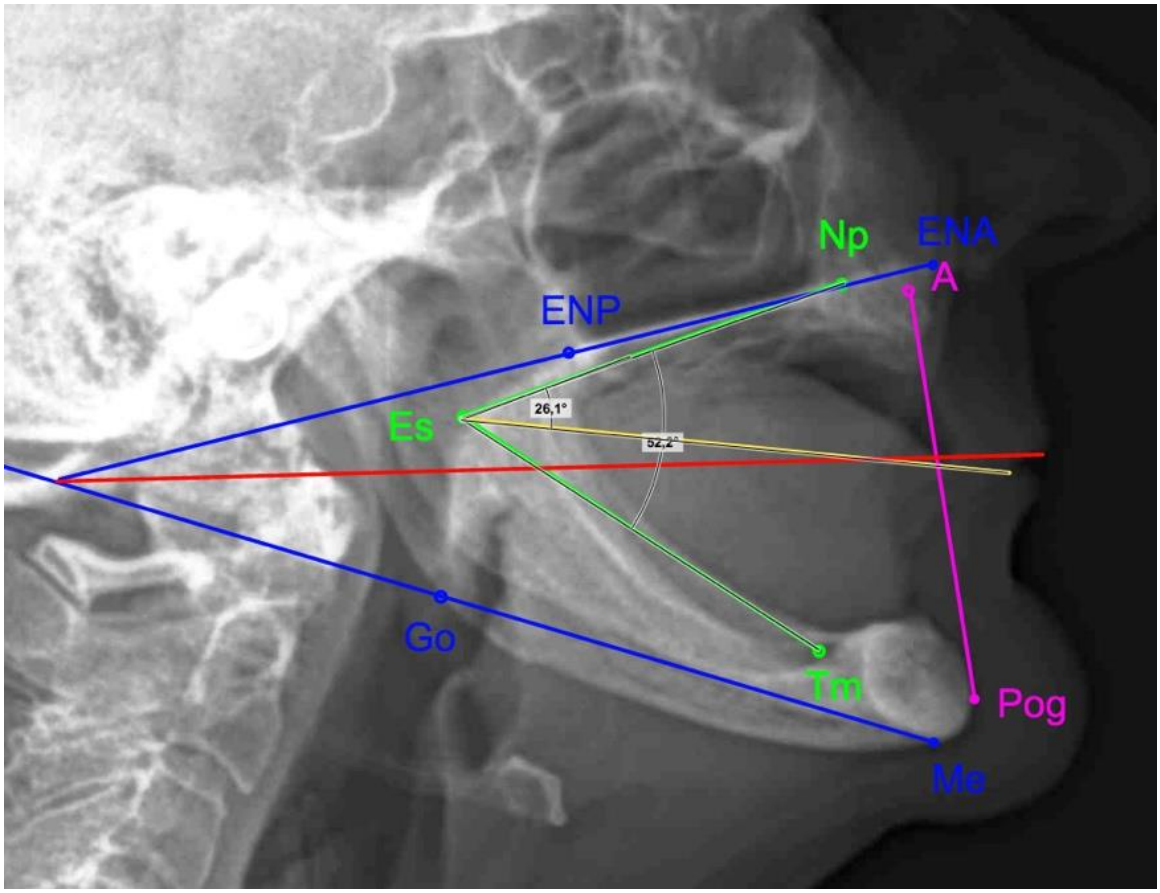

Figure 27: Tracés de l'analyse de Danguy sur la téléradiographie sans les bases d'occlusion réglées en bouche.

*Légende : En **vert** : **Np-Es-Tm** = Points nerveux ; En **jaune** : **Bissectrice** de l'angle **Np-Es-Tm** ; En **violet** : Droite **A-pog** ; En **bleu** : **ENP-ENA, Go-Me** = Plan palatin, plan mandibulaire ; En **rouge** : **PO** = Plan d'occlusion.*

Ce cliché a été réalisé après le cliché avec les bases d'occlusion en bouche (Fig.27). Cela peut expliquer la mise en place d'un mécanisme de mémoire musculaire et par conséquent une conservation de la position de la mandibule

similaire à celle du port des bases d'occlusion. On peut donc admettre que le plan d'occlusion théorique trouvé ci-dessus est similaire à celui obtenu avec les bases d'occlusion en bouche.

2.3.2 Application de la méthode de Sassouni

Le PO passe par O (centre du cercle de centre O et de 15 mm diamètre), entre l'arc de cercle antérieur L.N.ANS et l'arc basal A.B.

Les 4 plans :

- Plan Base du crâne
- Plan d'occlusion
- Plan mandibulaire
- Plan Palatin

Ils convergent en un point d'intersection O, les incisives centrales antérieures devraient se situer entre l'arc Basal de point A et B et l'arc antérieur de repères L-N-ANS-Po. Les angles plan palatin, plan base du crâne et plan palatin, plan mandibulaire sont égaux. Cela permet de situer la distance verticale d'occlusion. Nous travaillons toujours sur la téléradiographie de profil de madame M et avec le logiciel Mesurim2.

2.3.2.1 Téléradiographie de profil avec les bases d'occlusion en bouche

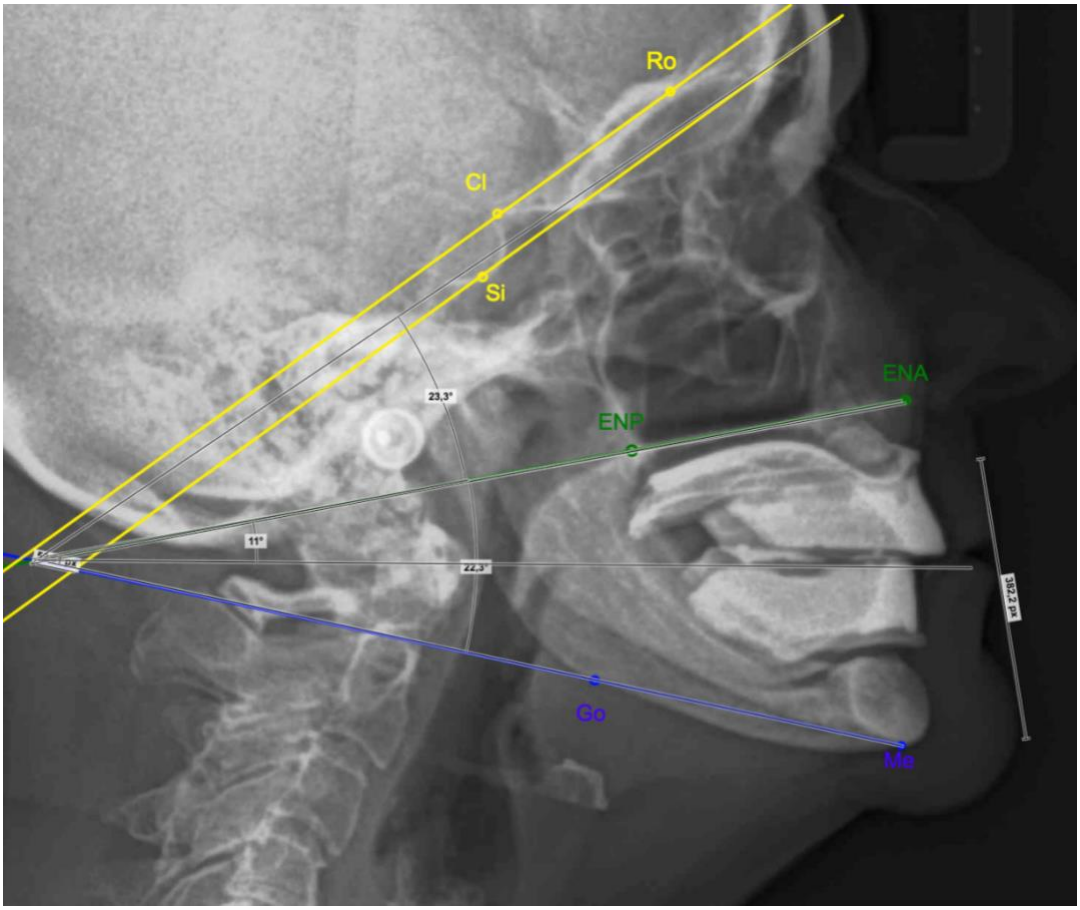

Figure 28: Réalisation des tracés de l'analyse de Sassouni sur la téléradiographie de profil avec les bases d'occlusion réglées en bouche.

*Légende : En **jaune** : **Cl-Ro**, droite **parallèle à Cl-Ro** passant par **Si** = Plan supra-orbitaire, plan base du crâne ; En **vert** : **ENP-ENA** = Plan palatin ; En **bleu** : **Go-Me** = Plan mandibulaire.*

Les plans base du crâne, palatin et mandibulaire se concentrent dans le cercle de centre O et de 15mm de diamètre. Les angles plan base du crâne-plan palatin et plan palatin-plan mandibulaire sont approximativement de 23,3° et 22,3°. La valeur de l'angle plan palatin-plan mandibulaire est à relativiser car variable du fait des possibilités de mouvements de la mandibule contrairement au plan base du crâne et au plan palatin qui sont non mobiles. La bissectrice de l'angle plan palatin-plan mandibulaire passe approximativement par le plan d'occlusion prothétique mandibulaire, faisant un angle de 11° avec le plan palatin ou le plan mandibulaire. Elle se situe légèrement sous le bord libre de la lèvre inférieure (Fig.28).

On en déduit une certaine harmonie des étages qui coïncide avec la théorie de Sassouni et donc que la DVO obtenue en clinique est cohérente.

2.3.2.1 Téléradiographie de profil sans les bases d'occlusion en bouche

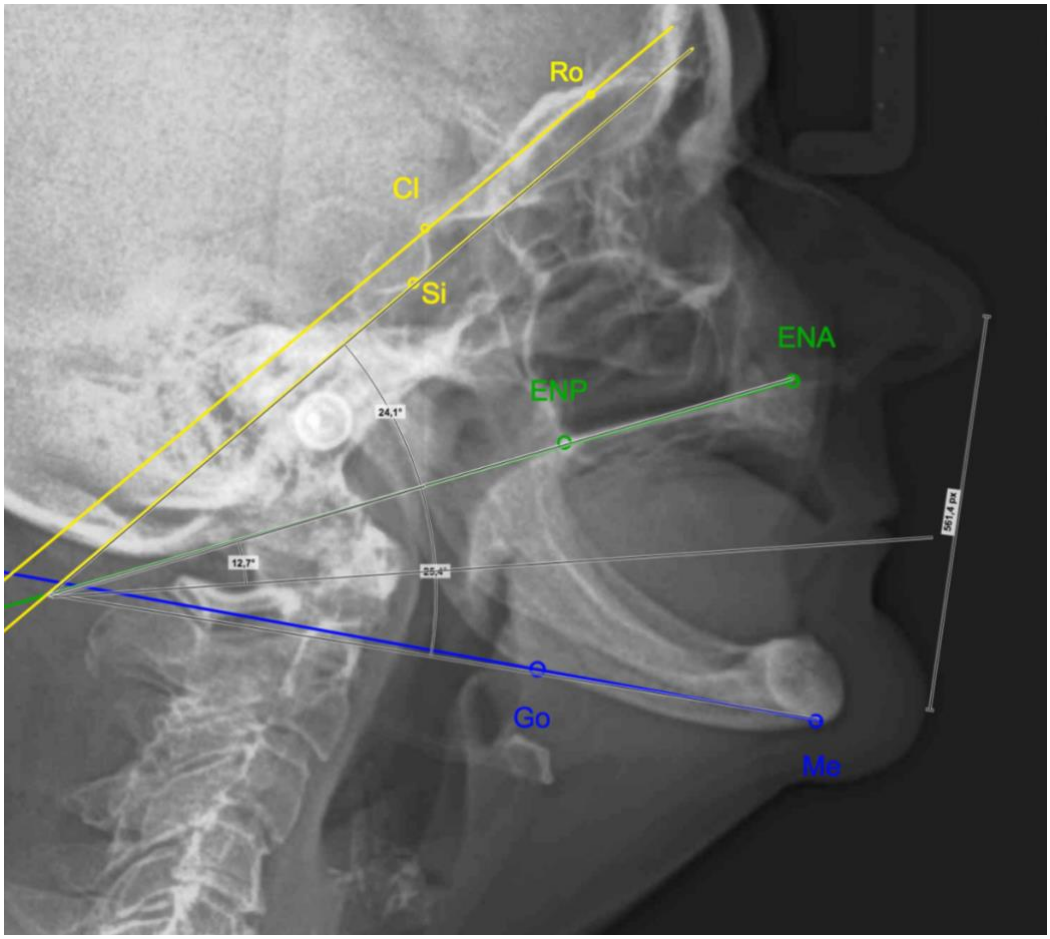

Figure 29: Tracés de l'analyse de Sassouni sur la téléradiographie de profil sans les bases d'occlusion en bouche.

*Légende : En **jaune** : **Cl-Or**, droite **parallèle à Cl-Ro** passant par **Si** = Plan supra-orbitaire, plan base du crâne ; En **vert** : **ENP-ENA** = Plan palatin ; En **bleu** : **Go-Me** = Plan mandibulaire.*

Ici les différents plans se croisent presqu'en un point d'intersection (à gauche de l'image) (Fig.29). Ceci peut certainement être expliqué par une légère rotation vers l'avant de la mandibule (ce qui projette le plan mandibulaire plus en arrière).

Les angles plan base du crâne-plan palatin (valeur fixe) et plan palatin-plan mandibulaire (valeur variable) sont approximativement de 24,1° et 25,4°.
Les dimensions semblent là aussi cohérentes probablement dû au port des bases juste avant la prise de la téléradiographie.

Cependant on peut souligner ici qu'en se servant de la bissectrice de l'angle plan palatin-plan mandibulaire il est possible d'obtenir la position relative du plan d'occlusion prothétique.

2.3.3 Application de la méthode de Ricketts

D'après les études menées par Ricketts le PO passe par Xi. On utilise Xi pour vérifier la véracité des tracés précédents. Une fois les tracés réalisés, le point Xi sert à vérifier si notre résultat semble normal.

2.3.3.1 Téléradiographie de profil avec les bases d'occlusion en bouche

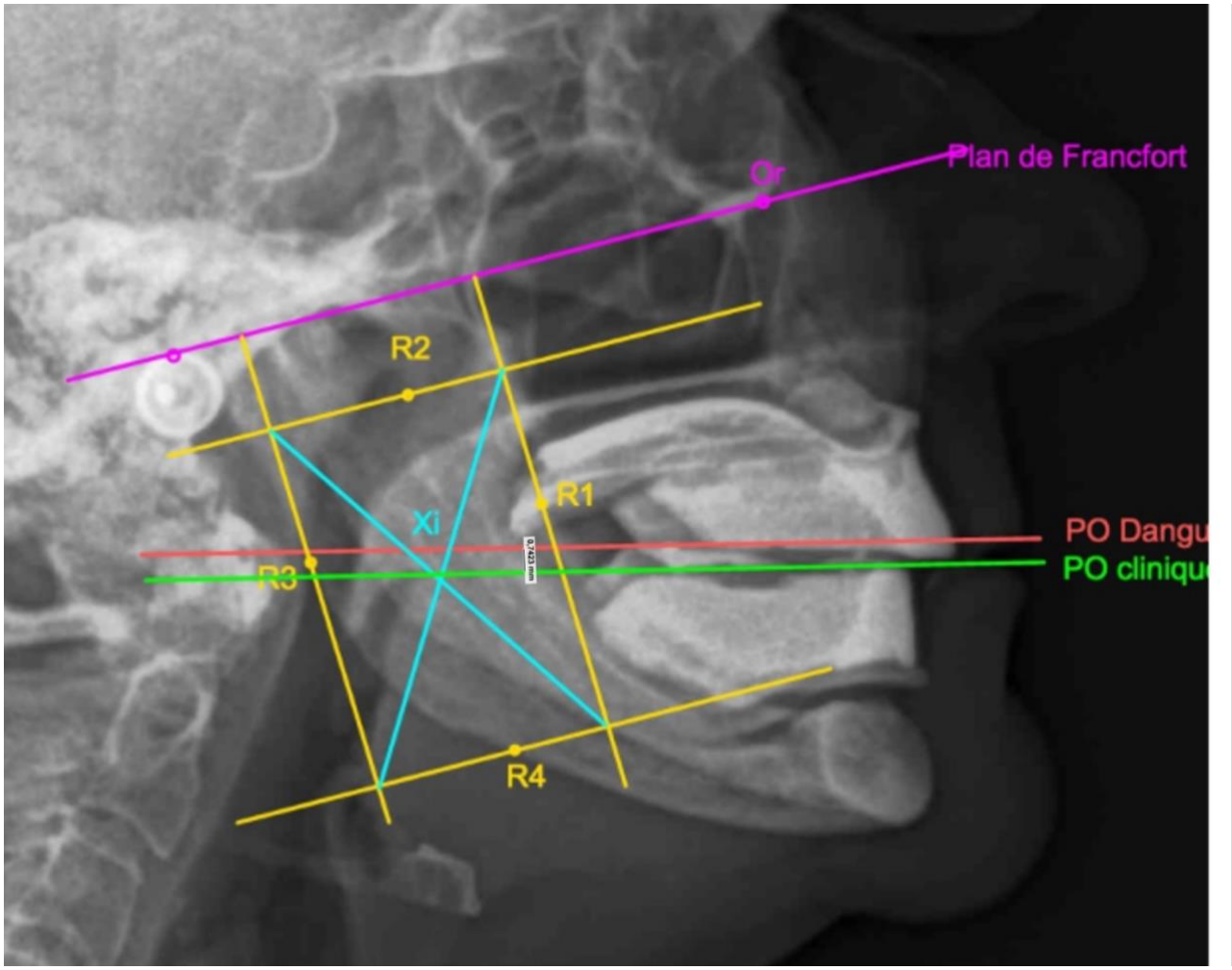

Figure 30: Réalisation des tracés de l'analyse de Ricketts sur la téléradiographie de profil avec les bases d'occlusion réglées en bouche.

*Légende : En **jaune** : Droites passant par **R1, R2, R3, R4** ; En **vert** : Le **PO clinique** ; En **rouge** : Le **PO de Danguy** ; En **violet** : Plan de **Francfort** ; En **bleu** : **Xi** = Point **d'intersection** des **diagonales** issues du quadrilatère **R1, R2, R3, R4.***

Selon l'analyse de Ricketts le plan d'occlusion passe par le point Xi. On perçoit sur l'image que le plan d'occlusion clinique (en vert) obtenu avec les bourrelets d'occlusion validés en clinique passe par le point Xi. Le plan d'occlusion issu de l'analyse Danguy (en rouge) se situe juste au-dessus du plan d'occlusion clinique (Fig.30).

Cette différence de position de quelque 0,74mm entre le plan d'occlusion réalisé avec les bases d'occlusion et celui obtenu par tracé céphalométrique grâce à la construction de Danguy peut être expliquée par :

- Un mauvais placement de la tête dans le céphalostat et donc une image radiographique biaisée des bases.
- Des variations lors des étapes de tracés du plan d'occlusion de Danguy et du placement du point Xi.

Cette différence est considérée non significative en raison de sa très faible valeur (inférieure à 1mm) et de la marge d'erreur existante lors de la construction conventionnelle (clinique) du plan d'occlusion.

On peut donc valider la situation du plan d'occlusion clinique sur la radiographie en fonction de sa position par rapport au point Xi et la cohérence du tracé du plan d'occlusion de Danguy par rapport au plan d'occlusion prothétique validé en clinique.

2.3.3.1 Téléradiographie de profil sans les bases d'occlusion en bouche

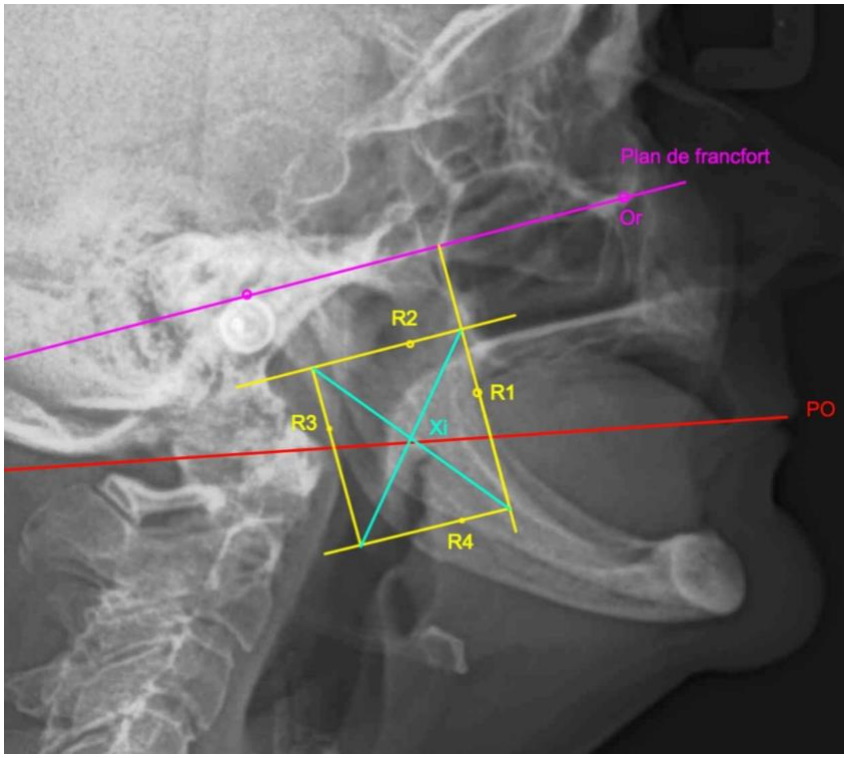

Figure 31: Réalisation des tracés de l'analyse de Ricketts sur la téléradiographie de profil sans les bases d'occlusions en bouche.

*Légende : En **jaune** : Droites passant par **R1, R2, R3, R4** ; En **rouge** : Le **PO de Danguy** ; En **violet** : Le **plan de Francfort** ; En **bleu** : Xi = Point **d'intersection** des **diagonales** issues du quadrilatère **R1, R2, R3, R4**.*

Sur l'image, le plan d'occlusion est celui obtenu avec la technique de Danguy sur la radiographie de la patiente sans les bases. Le plan d'occlusion passe légèrement sous le point Xi cependant il faut prendre en compte la position de la mandibule toujours biaisée par le port des bases d'occlusion avant de les retirer pour cliché (Fig.31).

L'utilisation du point construit Xi n'est pas aisée et est sujette à de nombreuses polémiques dans le milieu de l'orthodontie. Celui-ci reste peu employé par les orthodontistes en raison de la difficulté de sa réalisation et aux différentes erreurs et interprétations qu'elle peut entraîner.

Pour cette raison cette technique n'a pas été retenue ici pour chercher et construire le plan d'occlusion mais comme vérification du plan d'occlusion trouvé cliniquement.

La technique de prise de la relation inter-maxillaire aboutit à la localisation d'un plan d'occlusion « approché » du plan d'occlusion idéal. Cette méthode est utilisée et étudiée depuis de nombreuses années et on peut donc en conclure qu'elle est adaptée à la réhabilitation la cavité buccale d'un être humain avec une acceptation d'une certaine marge d'erreur.

Ces méthodes pour situer le plan d'occlusion numériquement présentent elles-mêmes une marge d'erreur, un « intervalle de normalité » dans lequel les valeurs idéales du patient ont le plus de chances de se trouver.

2.4 Résultats et discussion

On considère qu'une différence de quelques millimètres entre le plan d'occlusion physiologique et théorique est acceptable dans la mesure où il en est de même lors de la recherche et la réalisation du plan d'occlusion en pratique clinique conventionnelle.
Dans le cadre de cette étude, lorsqu'il y a des divergences entre les plans d'occlusion cliniques, le PO de Danguy et le point Xi elles ne sont donc pas considérées comme significatives.

L'irradiation des patients lors de ces examens radiologiques n'est pas anodin et doit respecter les recommandations actuelles en matière de radioprotection (Annexe 1).

La téléradiographie de profil, elle, n'apparaît pas dans les indications radiologiques qui concernent le patient édenté. Ce défaut d'indication représente une première limite non négligeable dans la recherche du plan d'occlusion sur radiographie 2D et 3D.

L'objectif initial de ce travail était d'employer le CBCT du patient et de le mettre en relation avec les études et données céphalométriques connues pour obtenir un véritable plan d'occlusion en 3D pouvant aboutir, entre-autres, à son utilisation dans la fabrication d'une PAC par CAO.

Les champs CBCT utilisés dans le domaine de l'odontologie s'avèrent trop petits pour l'étude céphalométrique pour placer les points et réaliser les tracés et calculer les angles.

Parmi les logiciels gratuits utilisés tels que Horos, OsiriX Lite, BlueSkyPlan et Romexis Viewer OS X, aucun ne contient de programme qui permet de placer des points sur la fonction téléradiographie 2D, de façon symétrique et de les relier sur la 3D pour former un plan.

La transformation en téléradiographie 2D des CBCT n'existe pas sur tous les logiciels et n'est pas exploitable en raison du peu de netteté de celle-ci, l'image radiographique devient très peu lisible et apparaît « floue ». Ces analyses nécessitent une Téléradiographie de qualité, nette, dans l'idéal sans artefacts et avec le moins de superpositions du côté droit et gauche.

Il est nécessaire de pouvoir placer précisément des points anatomiques, supports des tracés et à la base de calculs théoriques qui émergent des différentes études et analyses du domaine de l'orthodontie.

Il s'est révélé au cours de la manipulation qu'il n'est pas possible d'utiliser, sans adaptations, les méthodes d'analyses céphalométriques connues à ce jour pour une application 3D.

Les variabilités interindividuelles empêchent de trouver une « règle » valable pour tous dans les mêmes propensions.

D'autres limites ont été rencontrées telles que la difficulté d'établir ce protocole et ce sans erreur pour un praticien non initié à la pratique de la céphalométrie. Les chirurgiens-dentistes modernes exerçants en omni-pratique ne sont aujourd'hui pas ou peu formés au sein de leur parcours universitaire à la pratique de la céphalométrie. Ce manque de connaissances risque d'augmenter le nombre d'erreurs et d'imprécisions des tracés et donc de fausser le résultat final.

Pour pallier ce problème le projet serait de créer un logiciel d'aide au tracé et à l'analyse spécifique à cette application dans le domaine de la prothèse complète.

La méthode d'analyse de Danguy est peu connue et peu documentée et donc ne sera que peu valorisée (dû à un faible niveau de preuve) pour une utilisation autre que purement lilloise.

S'il n'existe pas officiellement de logiciel spécifique à la Céphalométrie 3D il est possible d'étudier à l'aide d'un logiciel classique de traitement de CBCT une méthode pour établir le plan d'occlusion sur les patients édentés.

3 Le flux 3D

En théorie de nombreux landmarks[8] et analyses utilisés pour les études céphalométriques 2D ne sont pas transposables à une étude en 3D. Les points médians ne peuvent normalement pas être utilisés dans un système tridimensionnel en raison de l'incertitude de leur localisation dans l'espace 3D (ceux-ci ayant été définis précisément uniquement dans un repère plan). On peut par exemple citer ici les points médians :

- ENA
- ENP
- A
- Me
- Pog

Afin de les rendre exploitables, nous les intégrerons dans des plans déjà connus et étudiés. Puisqu'on utilise des plans ils ne doivent être composés que de 3 points. Par conséquent certains points seront tout de même placés sur leur axe médian mais intégrés au plan. On s'inspire donc de ce qui est connu en matière de céphalométrie 2D comme une aide à la recherche pour créer un nouveau support en 3D. A l'heure actuelle, il n'existe pas ou très peu d'études portant sur une méthode d'analyse ou de tracé céphalométrique d'une image 3D d'un patient.

L'objectif est donc d'explorer le CBCT d'un patient afin de trouver une méthode reproductible et automatisée de détermination du plan d'occlusion chez l'édenté complet. Pour cela, malgré l'absence de données de référence, nous avons décidé d'adapter les repères déjà connus et utilisés en 2D dans des plans 3D.

Nous avons analysé le CBCT de la patiente précédemment étudiée et observé une concordance du plan d'occlusion virtuel généré par ordinateur, avec le plan d'occlusion cliniquement obtenu par les bases d'occlusion (visibles sur le CBCT).

[8] Landmark : point de repère

Le port de ces bases permet à la fois d'obtenir une DVO approchée et de compenser la rotation et la propulsion antérieure de la mandibule dues à l'absence d'occlusion.

3.1 Matériel et méthode

Ce travail fait suite au précédent, c'est une approche d'étude de faisabilité de la détermination du plan d'occlusion sur les CBCT des patients édentés totaux. Plusieurs étapes sont mises en place pour obtenir le plan d'occlusion virtuel. Les étapes 1 et 2 de l'obtention du plan d'occlusion virtuel sont les mêmes que pour la détermination du plan d'occlusion sur téléradiographie.

3.1.1 Matériel

Les tracés de céphalométrie sont réalisés grâce au CBCT de la patiente M ouvert avec le logiciel Avizo®. Ce logiciel commercial est développé par Thermo Fisher Scientific. Il est utilisé pour la visualisation 3D avancée de la surface scannée, l'analyse et les calculs de données scientifiques et industrielles. Ce logiciel est utilisé dans le but d'améliorer les connaissances des matériaux et structures complexes [64].

3.1.2 Méthode

Étape 1

Cette étape est la même que celle décrite dans le protocole précédent.
Choix du patient et réalisation des bases d'occlusion. (cf. page 30-32)

Étape 2

Réalisation du CBCT du patient avec les bases en bouche.

Étape 3

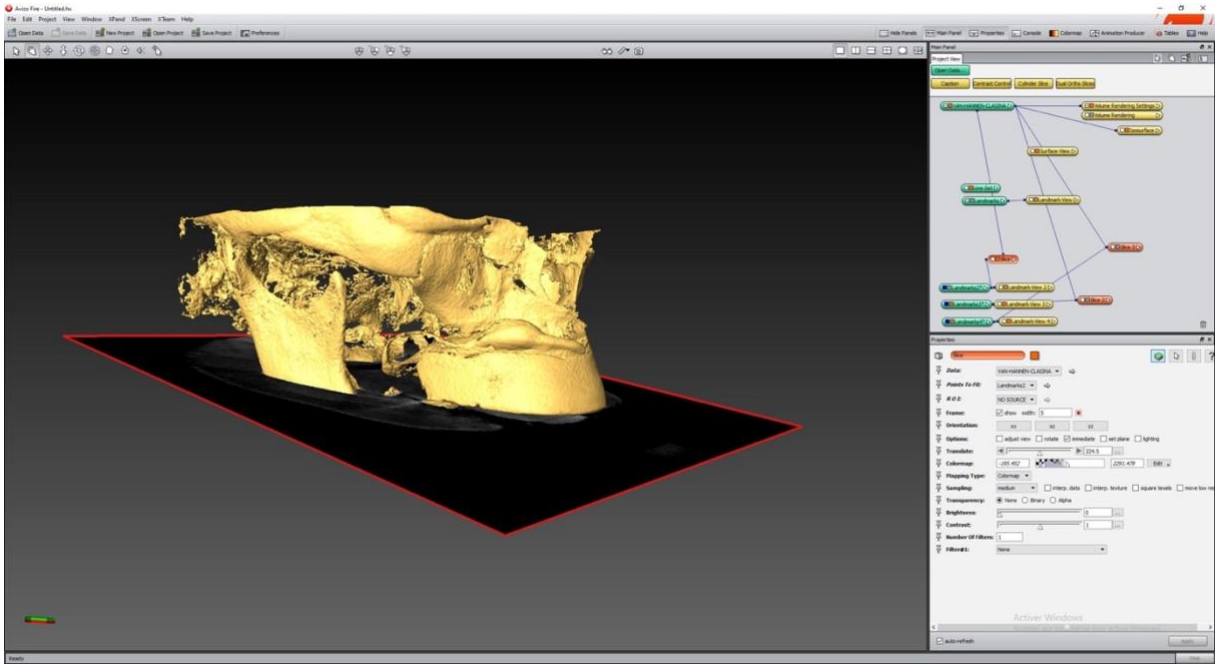

Figure 32: Interface du logiciel Avizo.

On recherche des landmarks et plans exploitables pour la détermination du plan d'occlusion. On essaie d'appliquer la méthode des points nerveux de Danguy pour trouver le plan d'occlusion idéal sur des données 3D (Fig.32) [1][23][59].

Étape 4

Il convient de vérifier la concordance des données précédemment récoltées avec les calculs et tracés effectués à l'aide du logiciel. On vérifie si les tracés passent par les repères radio-opaques du bourrelet d'occlusion.

La réussite de ce test est confirmée par une :

- Adéquation du plan d'occlusion tracé sur le logiciel et le plan d'occlusion clinique représenté par les bourrelets d'occlusion.

- Validation clinique par le praticien et le patient de la prothèse et son plan d'occlusion selon les mesures céphalométriques faites dans l'étude.

3.2 Cas expérimental

Deux nouveaux protocoles sont étudiés :

- 1er protocole : Recherche d'une méthode de détermination du plan d'occlusion en 3D utilisant la bissectrice du plan mandibulaire et du plan palatin. C'est une approche exploratoire à l'aide des données obtenues par le logiciel.

- 2nd protocole : Tentative d'adaptation de l'analyse 2D de Danguy sur le CBCT du patient. On essaye d'optimiser une approche 2D déjà éprouvée dans une configuration 3D.

3.2.1 Approche exploratoire

Étape 1

Les images du CBCT du patient sont ouvertes sur le logiciel Avizo® (Fig.33).

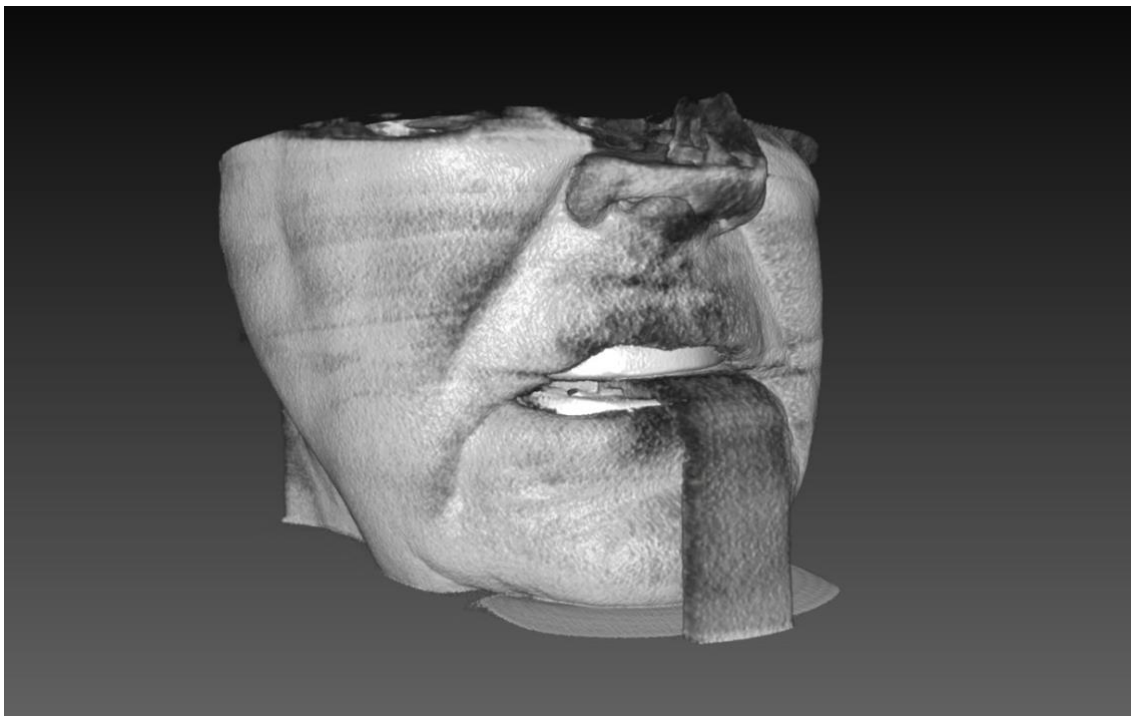

Figure 33: Rendu volumique du CBCT sur Avizo®.

Étape 2

A partir de ce fichier on crée un rendu volumique (i.e : le rendu volumique est un ensemble de techniques utilisées pour projeter dans un plan 2D un ensemble de données obtenues en 3D. L'image obtenue en 3 dimensions peut être sectionnée en chaque plan et déplacée dans l'espace, permettant une visualisation 3D de l'anatomie des os du crâne. Il peut être associé à un CBCT pour l'étude volumétrique des défauts osseux dans les régions alvéolaires et palatines). Cela permet d'avoir une visualisation en 3D (intérieur et surface) dans l'espace du profil du patient édenté complet (Fig.33) [65].

Étape 3

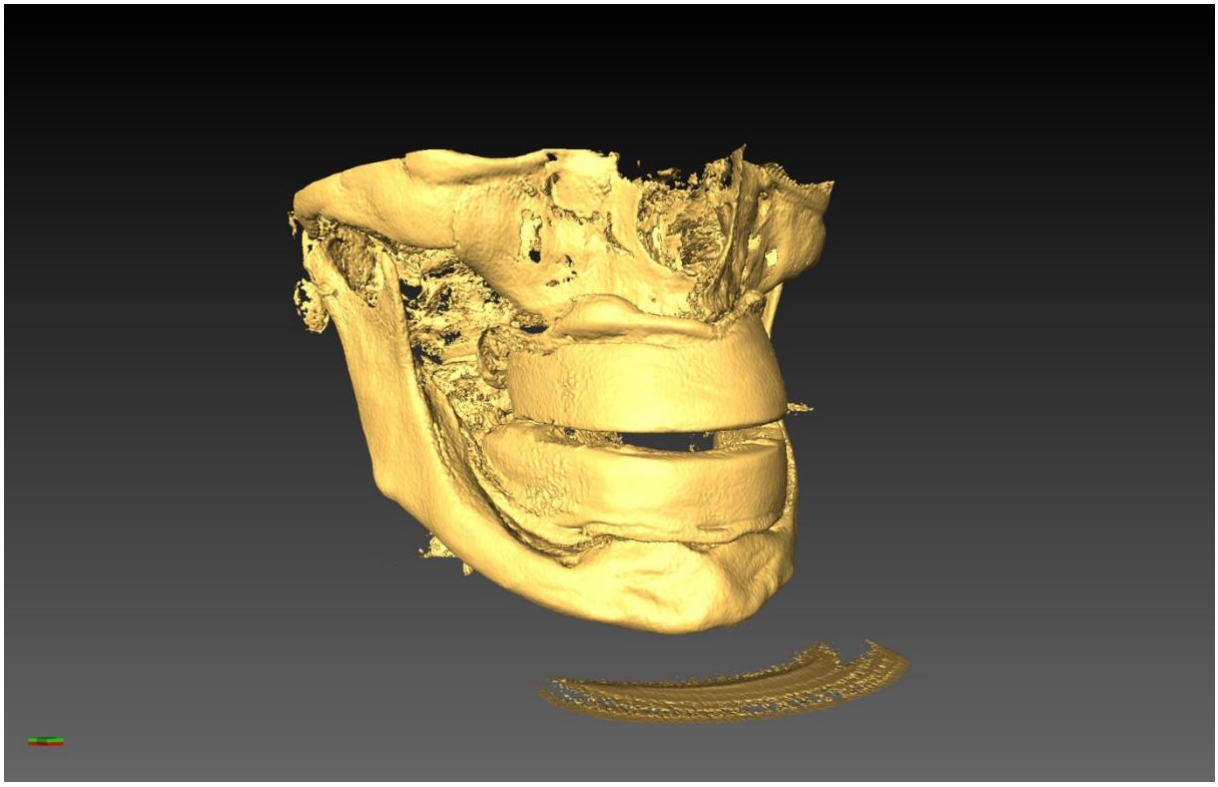

Figure 34: Segmentation et isosurface de l'os.

On segmente l'os en ne sélectionnant que les niveaux de gris qui correspondent à l'os (Fig.34). On ne garde que les parties osseuses intéressantes pour la détermination du plan d'occlusion.

Étape 4

Une isosurface de cette segmentation est créée, cela permet de visualiser de manière réaliste les os présents dans une région de densité donnée du CBCT et de pouvoir positionner les landmarks (Fig.34).

Étape 5

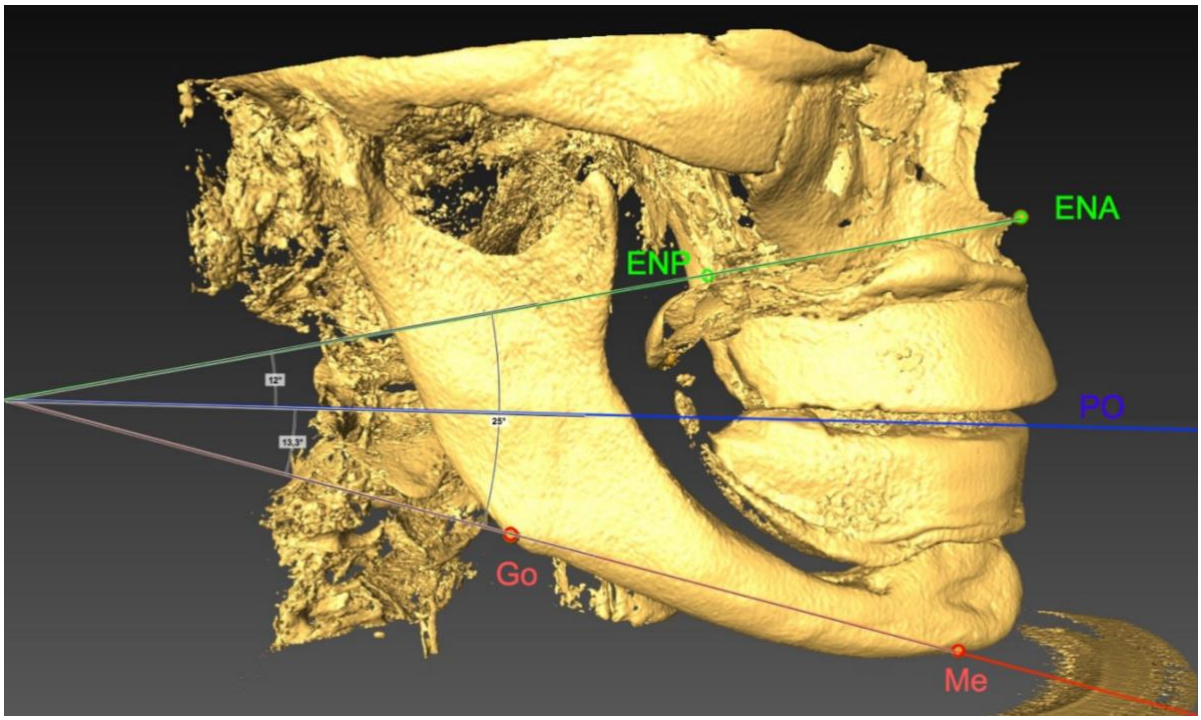

*Figure 35: Construction finale du Plan d'Occlusion en 3D avec les landmarks ; En **vert** : Le **plan palatin** (construit par ENP-ENA) ; En **rouge** le **plan mandibulaire** (construit par Go-Me) ; En **Bleu** le **plan d'occlusion** (Bissectrice de l'angle plan palatin- plan mandibulaire).*

ENP et ENA sont des points médians. Trois points sont nécessaires pour former un plan. Il existe une structure bilatérale très proche de la position anatomique de ENP; les Foramina Grands Palatins[9]. Il est choisi d'utiliser ces deux points pour former le plan maxillaire défini sur une image 2D par ENP-ENA.

On pose les landmarks (Fig.35) :

- ENP (correspond ici aux FGP de chaque côté du maxillaire) et ENA en vert
- Go de chaque côté de la mandibule et Me en rouge.

[9] FGP : Foramen Grand Palatin

Étape 6

On fait apparaître les plans souhaités grâce à ces landmarks (Fig.35) :

- Le plan palatin en vert
- Le plan mandibulaire en rouge

Étape 7

La bissectrice de l'angle formé par ces deux plans correspondant au plan d'occlusion. On la fait apparaître en bleu (Fig.35). On vérifie ensuite le plan d'occlusion en se basant sur le bourrelet d'occlusion maxillaire. Cela permet de supprimer les erreurs dues au mouvement de la mandibule lors de la prise du CBCT avec le support buccal intercalé entre les bourrelets d'occlusion (Fig.36,37 et 38).

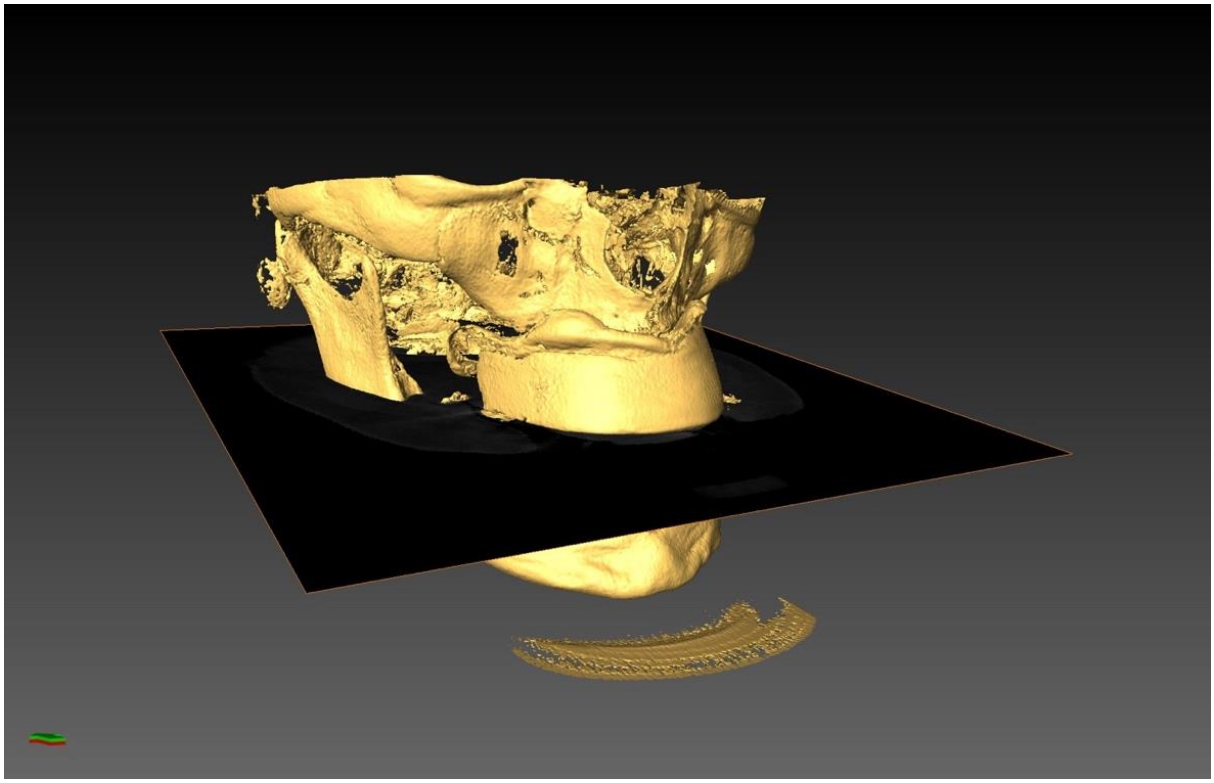

Figure 36: Vue latérale du plan d'occlusion.

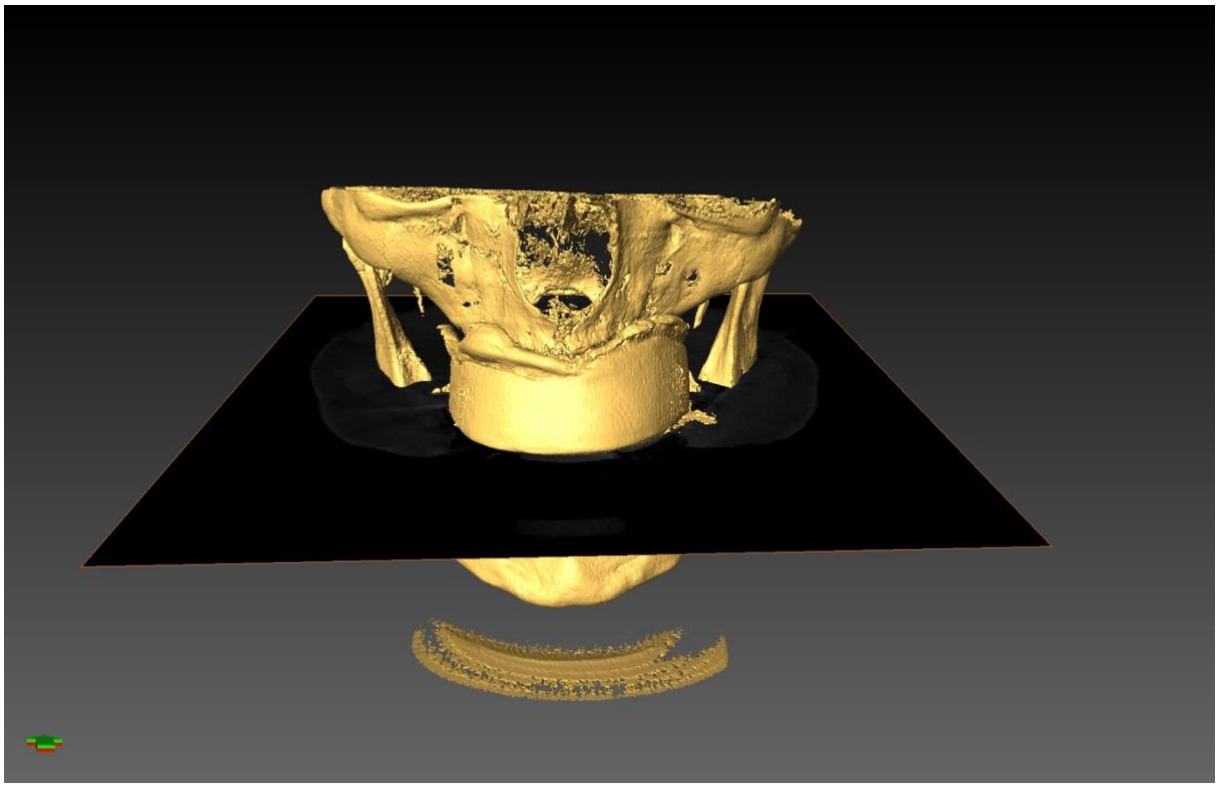

Figure 37: Vue frontale du plan d'occlusion.

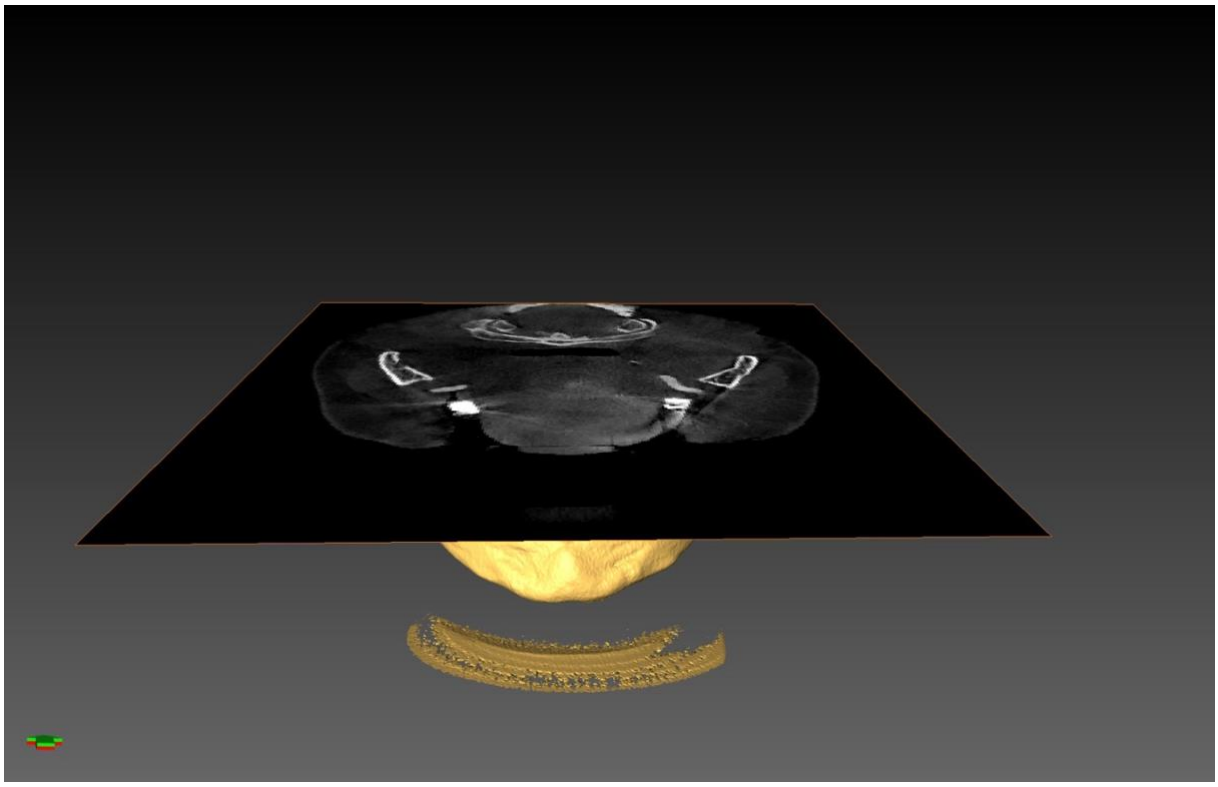

Figure 38: Vue axiale du plan d'occlusion.

3.2.2 Approche adaptative

Les étapes 1 à 4 de l'obtention du plan d'occlusion virtuel sont les mêmes que celles pour la détermination du plan d'occlusion par une approche exploratoire.
Pour une raison de manque de clarté sur l'image 3D de certaines étapes de réalisation de la méthode de Danguy, il a été décidé de ne mettre que celles représentatives et compréhensibles (Plans nerveux). Le déroulé des étapes pour rechercher le plan d'occlusion avec cette méthode est le même que celui étudié en céphalométrie 2D (cf p.45).

Étape 1

Ouverture des images du CBCT du patient (Fig.33).

Étape 2

Création du rendu volumique à partir de ce fichier (Fig.33) [65].

Étape 3

Sélection des niveaux de gris qui correspondent à l'os (Fig.34). Seuls sont gardés les parties osseuses intéressantes pour la détermination du plan d'occlusion.

Étape 4

Création d'une isosurface de cette segmentation (Fig.34).

Étape 5

On place les points nerveux Np-Es-Tm à droite et leurs homologues à gauche. Grâce à ces landmarks on peut former les plans Np-Es et Es-Tm (Fig.39).

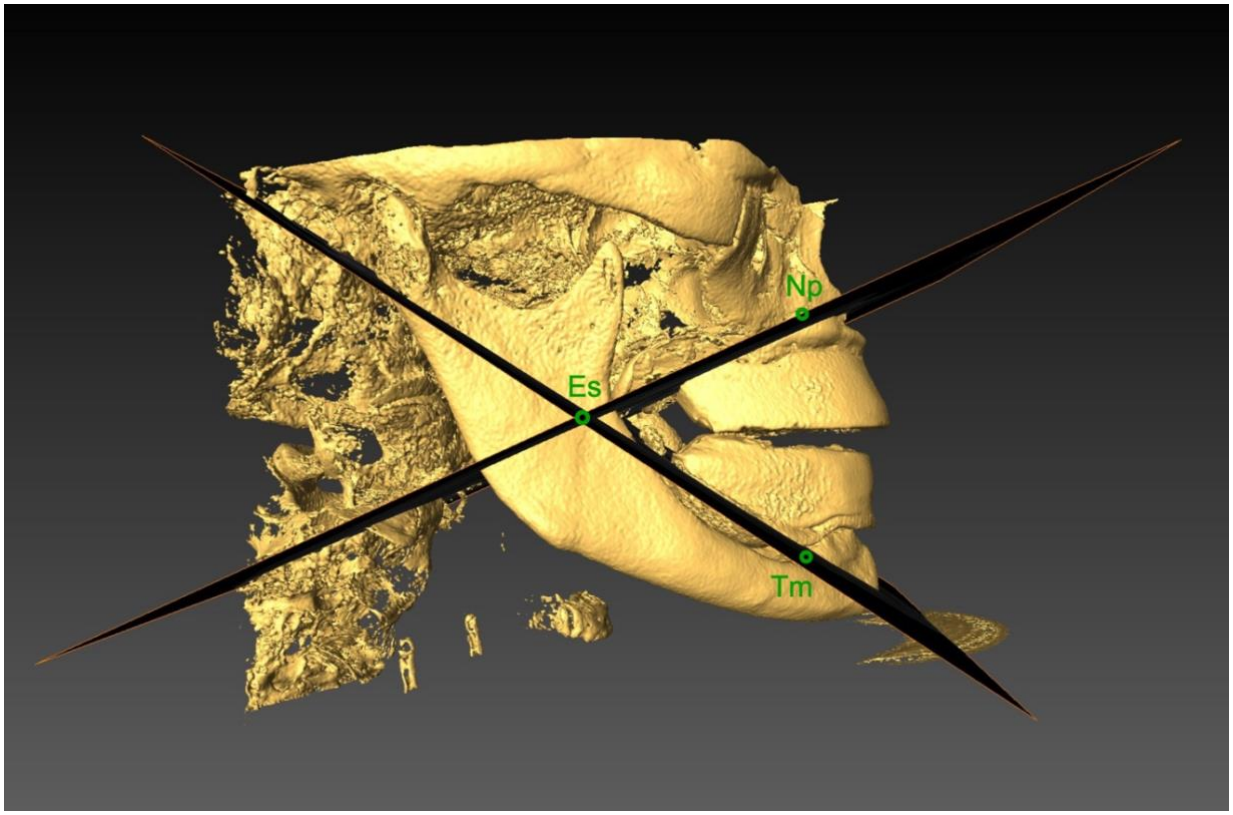

Figure 39: Plan et points nerveux Np-Es-Tm sur le modèle 3D.

Étape 6

On reprend les étapes classiques de la construction du plan d'occlusion par Danguy sur une image 2D (Fig.39 et 40).

On trace :

- La bissectrice de l'angle Np-Es-Tm
- La droite A-Pog
- Un point 2mm au-dessus de l'intersection entre la bissectrice et A-Pog
- Les plans maxillaire et mandibulaire comme tracés dans l'approche exploratoire (cf p.68)
- Est obtenu le plan d'occlusion en reliant le point d'intersection des plans maxillaire et mandibulaire et le point placé sur la droite A-Pog

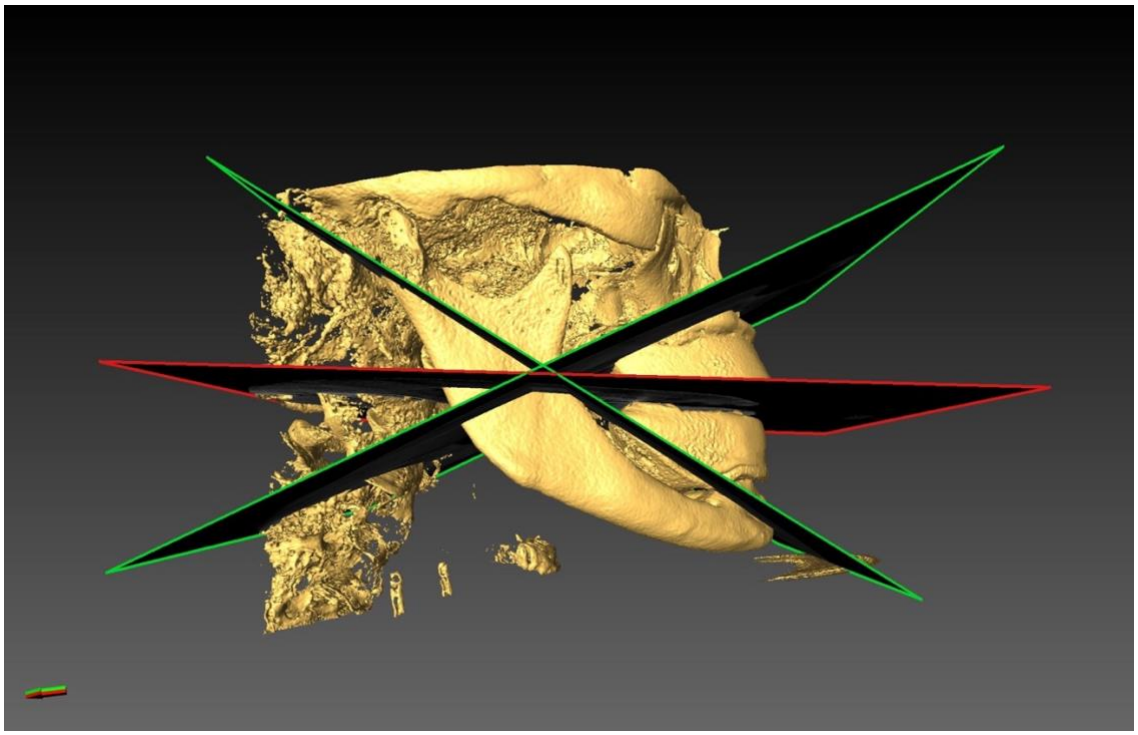

*Figure 40: Construction finale du Plan d'Occlusion en 3D adapté de la méthode Danguy; En **vert** : les **plans nerveux** Np-Es et Es-Tm ; En **rouge** le **plan d'occlusion.***

3.3 Résultats et discussion

Ces expériences ont prouvé qu'un plan d'occlusion pouvait être réalisé à partir du CBCT d'un patient. Les résultats des approches exploratoires et adaptatives sont encourageants dans la mesure où les plans obtenus sont superposables au plan clinique obtenu par les maquettes d'occlusion maxillaire.

On peut citer certaines limites rencontrées lors de ces manipulations :

- L'inocclusion des bourrelets due à la rotation de la mandibule lors de la prise du CBCT entraîne un biais au niveau des tracés. Cependant la concordance entre le plan d'occlusion virtuel et plan d'occlusion clinique ne semble pas impactée d'une manière significative.
- Placer les points et tracer les plans sur les images nécessite l'utilisation d'un logiciel de traitement onéreux et peu accessible à l'ensemble des praticiens.
- Ces logiciels ne sont pas optimisés et dédiés à l'application clinique de la céphalométrie 3D. Ils réclament une prise en main approfondie et non intuitive.
- Dans les deux cas il a été nécessaire de placer un landmark antérieur et deux postérieurs pour pouvoir adapter nos connaissances 2D au 3D. Malgré les variations que le placement de points médians ou de nouveaux points bilatéraux peuvent engendrer cela n'a pas été significatif sur le résultat.
- La superposition de plusieurs plans sur le CBCT engendre une saturation visuelle de l'image rendant difficile son interprétation. C'est le cas dans l'adaptation de la méthode de Danguy.

Pour contrer ce phénomène de mouvement aléatoire à la mandibule et pour pouvoir automatiser plus facilement la recherche du plan d'occlusion chez le patient édenté total il faut trouver une méthode de mise en place dépendante principalement de structures fixes comme le maxillaire.

L’ensemble de ces démarches et expériences d’adaptation et d’observation du plan d’occlusion à l’aide d’outils numériques permettent l’ouverture et l’accès à un nouveau panel de possibilités en matière de réalisation de RIM.

Conclusion et perspectives

La mise en relation de la céphalométrie avec la prothèse amovible complète a déjà été étudiée par le passé pour la recherche du plan d'occlusion. Les fondements et les protocoles de réalisation d'une prothèse amovible complète qui en découlent se sont avérés probants et sont encore utilisés de façon usuelle actuellement.

Le développement croissant de méthode numérique d'empreinte et d'enregistrement optique dans le domaine de la prothèse dentaire amovible permet l'étude de nouvelles approches en matière de construction et de localisation du plan d'occlusion prothétique.
L'application de méthodes céphalométriques 2D sur des téléradiographies de profil d'un patient totalement édenté révèle des plans d'occlusion cohérents et concordants avec ceux obtenus via des bases d'occlusion réalisées et validées cliniquement.

Concernant l'utilisation de la céphalométrie tridimensionnelle, l'obtention d'un plan d'occlusion analogue à celui issu de l'étude clinique est possible ; cependant cette étude 3D nécessite des connaissances approfondies en anatomie crâno-faciale et des compétences poussées dans la maîtrise des outils informatiques relatifs à l'exploitation et à l'interprétation des CBCT. L'acquisition de ces compétences est bridée par l'accès limité aux chercheurs de ces logiciels permettant une pleine expertise des scanners.

L'enregistrement de la relation inter-maxillaire trouvera son avenir dans la mise au point et l'automatisation d'un protocole de création de plan d'occlusion via les analyses 3D. Ce protocole conjugué à la Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur (CFAO) pourrait conduire à une entière réalisation numérique des prothèses amovibles complètes.

Références bibliographiques

1. Lejoyeux J. Prothèse complète. 2, 2,. Paris: Maloine; 1986.
2. Philippides N. Les analyses céphalométriques en réseau, état des lieux avant informations.[Thèse d'exercice]. [Strasbourg,France]; 2018;p.7-12.
3. Céphalométrique : définition de « céphalométrique » [Internet]. Lang. Fr. [cited 2022 Feb 1]. Available from: https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition/cephalometrique
4. Céphalométrie [Internet]. CSE Imag. Médicale Numér. 2014 [cited 2022 Feb 1]. Available from: https://www.cse.paris/accueil/dentaire/cephalometrie/
5. Premkumar S. Textbook of Craniofacial Growth. JP Medical Ltd; 2011.
6. Artech. Centre de radiologie et d'imagerie médicale numérisée Avicenne Sousse [Internet]. Cent. Radiol. Imag. Médicale Numér. Avicenne Sousse. [cited 2022 Apr 30]. Available from: https://www.radiologieavicenne.com/
7. Langlade M. Céphalométrie orthodontique. Maloine. Dialogues Librairie; 1978.
8. A. Bjork. The Significance of Growth Changes in Facial Pattern and Their Relationship to Changes in Occlusion, The Dental Record 71, no. 10 (1951): 197–208.
9. Bertrand A, Barrois A, Mauran G, Société française d'orthopedie dentofacial. L'orthodontie française- 61e Congrés annuel - rapport sur le plan d'occlusion. Vanves: S.I.D; 1988.
10. Taub PJ. Cephalometry. J Craniofac Surg. 2007;18:811–7.
11. HAS; DGSNR; IRSN.Guide des indications et des procédures des examens radiologiques en odontostomatologie.2006;28p.
12. Van Vlijmen OJC, Maal T, Bergé SJ, Bronkhorst EM, Katsaros C, Kuijpers-Jagtman AM. A comparison between 2D and 3D cephalometry on CBCT scans of human skulls. Int J Oral Maxillofac Surg. 2010;39:156–60.
13. Dumitrache M, Gabison K, Atrtchine A, Chabre C. Trois analyses céphalométriques usuelles. EMC - Orthopédie dentofaciale 2013;8(1):1-14 [Article 23-455-D-30]. Elsevier Masson;
14. Vion PE. Anatomie cephalique teleradiographique: norma lateralis, norma frontalis, norma axialis. Vanves, France: Éditions S.I.D; 1997. 183 p.
15. Gola R, Cheynet F. Bases fondamentales de l'analyse céphalométrique de profil fonctionnelle et esthétique. EMC - Orthopédie Dentofaciale. [323- 328]. Paris: Springer Paris; 2006.
16. N'dindin A.C ; N'Dindin-Guinan B.A ; Guinan J.C ; Lescher J. Apport de la téléradiographie dans la détermination du plan d'occlusion réfèrentielle chez l'édenté total.Odonto-Stomatologie Tropicale. 2000;7:p35-36.
17. Romexis® Cephalometric Analysis | Logiciel de planification des traitements d'orthodontie [Internet]. [cited 2022 Apr 30]. Available from: https://www.planmeca.com/fr/logiciel/modules-du-logiciel/planmeca-romexis-cephalometric-analysis/
18. Maxime Maillet. Conception du plan d'occlusion mandibulaire en odontologie prothétique et communication des données au laboratoire. Sciences du Vivant [q-bio]. 2016;p22-34. hal-01932170.

19. Céphalométrie [Internet]. [cited 2022 May 2]. Available from: https://www.orthoadvance.com/le-logiciel/cephalometrie
20. D'Ippolito S, Ursini R, Giuliante L, Deli R. Corrélations entre les asymétries mandibulaires et les troubles temporomandibulaires (TTM). Int Orthod. 2014 Jun;12(2):222–38.
21. Rabache A.L'analyse céphalométrique classique lilloise : aide aux travaux pratiques de troisiéme année.[Thèse d'exercice]. [Lille,France]: Université du Droit et de la Santé; 2015;p.13-23.
22. Lejoyeux J. Prothèse complète Paris: Maloine, 1986, 512 p.
23. M. Danguy, Ch. Danguy-Derot. À propos d'une analyse céphalométrique architecturale orthodontique. Ortho Fr. 2002;Volume 73:p363-373.
24. Figure 13 Téléradiographie de Mélanie T. 11 ans 9 mois, en fin de... [Internet]. ResearchGate. [cited 2022 May 2]. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Teleradiographie-de-Melanie-T-11-ans-9-mois-en-fin-de-traitement-orthopedique_fig4_8410577
25. M. Chateau, "Eléments particuliers de sémiologie radiologique et céphalométrie," Orthopédie dento-faciale. 2, clinique : diagnostic, traitement, orthognathie, orthodontie, stabilisation. (Paris: Éditions CdP, 1993), 33–46.
26. Guindon C. Biométrie, Céphalométrie et O.D.F, les méthodes d'analyse céphalométrique. C.E.C.S.M.O III.2002;p40-41.;
27. Ameisen E. ODF-Céphalométrie. 2012;p2-4.
28. Spratley MH. A simplified technique for determining the occlusal plane in full denture construction. J Oral Rehabil. janv 1980;7(1):31-3.
29. Gysi A. The problem of articulation. Dent Cosmos 1910; 52: 1-19.
30. Orthlieb J-D, Laurent M. Influence de l'inclinaison sagittale des dents mandibulaires et de l'orientation du plan d'occlusion sur la dérive mésiale des arcades. Orthod Fr. déc 2000;71(4):287-94.
31. The Academy of Prosthodontics. The glossary of prosthodontic terms. J Prosthet Dent 2005;94:10-92.
32. Dupas P-H, Margerit J. L'articulateur au quotidien son utilisation simplifiée. Paris: Editions CdP; 2012.
33. Orthlieb J-D, Ré J-P, Mantout B. Le plan de référence horizontale. Inf Dent. 11 juill 2007;28:1609-10.
34. Abdeldjalil Gadra. les articulateurs et les arcs faciaux p.17 [Internet]. 15:25:37 UTC [cited 2022 May 2]. Available from: https://www.slideshare.net/AbdeldjalilGadra/les-articulateurs-et-les-arcs-faciaux-99212442
35. Archien C, Begin M, Thépin J-C, Unger F. Dictionnaire de prothèse odontologique. Paris: Éd. SNPMD; 2004.
37. Plan de Francfort [Internet]. Wikipédia. 2022 [cited 2022 May 2]. Available from: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Plan_de_Francfort&oldid=191504715
38. Tjan A.H.L., Miller G.D. The JGP.Some esthetic factors in a smile. J Prosthest Dent 1984;51:24-28. Cat 3.
39. Dawson PE. Les problèmes de l'occlusion clinique. CdP. 1992.

40. Paris JC, Faucher AJ. « Le Guide Esthétique : Comment Réussir Le Sourire de Vos Patients. » Quintessence International. ; 2004.
41. Odds M, Laborde G, Devictor R A, Maille G, Sette A, Margossian P. « Les références esthétiques: la pertinence du diagnostic au traitement. » 2014 ;14:8.
42. Fradeani M, Barducci G, Chiche G, Liger F, Perelmuter S. Réhabilitation esthétique en prothèse fixée. une approche de l'intégration esthétique, biologique et fonctionnelle Volume 2. Paris; Berlin; Chicago [etc]: Quintessence International; 2009.
43. Monteith B. D. A cephalometric method to determine the angulation of the occlusal plane in edentulous patients J Prosthet Dent, 1985, 54, 1, pp. 81-87.
44. Lautrou A. Anatomie dentaire. Paris: Broché, 2004.
45. Dawson PE. Les problèmes de l'occlusion Clinique: évaluation, diagnostic, traitement. 1992;
46. P.Santoni, F.Biscarat, T.Gotusso. Les thérapeutiques cabinet-laboratoire: Plan d'occlusion prothétique et montage des dents p.101-112. 2002.
47. Ackerman F. Le mécanisme des mâchoires (naturelles et artificielles) de la théorie à la pratique de la clinique à la technique. Paris: Masson; 1953.
48. Orthlieb JD. Gnathologie fonctionnelle Volume 1 : occlusion et restauration prothétique. Éditions CdP ; 2010.
49. Collège national d'occlusodontologie, Commission de terminologie. Lexique. Paris : Quintessence International ; 2001.
50. Spee F. G. Die Verschiebrangsbahn des Unterkiefers am Schadell Arch Anat Physiol, 1890, 16, pp.285-94.
51. Spee FG. The Gliding Path of the Mandible along the Skull. J Am Dent Assoc. mai 1980;100(5):670-5.
52. Marjanovic Kavanagh M, Tokic T, Jakovcevic A, Smiljanic R, Bumber B, Prstacic R. Pneumatized Crista Galli: A Histopathologic Study. Otolaryngol Neck Surg. 2020;163:517–21.
53. Wilson G. H. A manual of dental prosthetics Philadelphia: Lea & Febiger, 1911, p.507.
54. Abjean J, Korbendau J-M, Kerébel B. L'occlusion: aspects cliniques, directives thérapeutiques. Paris, France: Julien Prélat, DL 1977;117 p.
55. Monson G. S. Some important factors which influence occlusion J Nat Dent Assoc, 1922, 9, pp. 498-503.
56. Monson GS. Occlusion as Applied to Crown and Bridge-Work. J Natl Dent Assoc. mai 1920;7(5):399-413.
57. Ogolnick, R. Les matériaux d'enregistrement des rapports intermaxillaires. Les cahiers de prothèse, novembre 1997, n°100, p. 5-12.
58. Helfer M, Louis JP, Vermande G. Gestion des rapports intermaxillaires en prothèse amovible complète. Stratégie Prothétique. 2010;1(2):33–41.
59. Perret L. Étude de la divergence faciale à partir de l'analyse architecturale de danguy. Orthod Fr. 2005;76:355–355.
60. Bardet I, Goudot P, Kerbrat J-B, Mauchamp O. Surgery First : détermination des objectifs squelettiques à partir des analyses structurales. Comparaison des analyses de Delaire et de Sassouni. Orthod Fr. 2019;90:37–54.
61. Génin G. L'orientation du plan d'occlusion mandibulaire en prothèse amovible complète : de

la complexité à la pratique quotidienne. [Thèse d'exercice]. [Nancy]: Université Henri Poincaré; 2012;p.38-46.
62. Ricketts RM. Perspective in the clinical application of cephalometric. Angle Orthod J.II 1981;(51):115.
63. Mohammed Elnaggar. Ricketts analysis p.3 [Internet]. 10:42:36 UTC [cited 2022 May 3]. Available from: https://fr.slideshare.net/MohammedElnaggar/ricketts-analysis-36754180?nomobile=true&smtNoRedir=1
64. Avizo Software [Internet]. [cited 2022 Mar 22]. Available from: https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/AVIZO
65. Katkar RA, Taft RM, Grant GT. 3D Volume Rendering and 3D Printing (Additive Manufacturing). Dent Clin North Am. 2018;62:393–402.
66. Foucart J-M. Guide des indications et des procédures des examens radiologiques en odontostomatologie."Justification clinique des examens en odontostomatologie".2007;p12-34.
67. White, S.C. and Pharoah, M.J. (2014) Oral Radiology: Principles and Interpretation, 7th Edition, Elsevier, Health Sciences Division, Amsterdam,41-63.
68. Circulaire DGT/ASN n°04, 2010.
69. Cordoliani, Foehrenbach. Radioprotection en milieu médical: principes et mise en pratique. Elsevier Masson; 2008.
70. Bellaiche N. Focus clinic : Scanner et tomographie à faisceau conique Quelle méthode d'imagerie choisir en odontostomatologie ? Le Fil Dentaire.2007;28-16.

Index des figures

Figure 1: Téléradiographie de Profil (Norma lateralis à gauche) et de Face (Norma verticalis à droite) [6]. 11

Figure 2: Logiciel Planmeca Romexis® Cephalometric Analysis, outil pour les analyses céphalométriques [17]. 13

Figure 3: Exemple d'analyse céphalométrique avec le Logiciel Planmeca Romexis® Cephalometric Analysis [17]. 13

Figure 4: Exemple de logiciel d'analyse céphalométrique de chez Orthoadvance [18]. 15

Figure 5: Points de céphalométrie d'intérêt pour l'étude 2D du plan d'occlusion en prothèse amovible complète [1]. 17

Figure 6: Localisation du point C.[1]..... 18

Figure 7: Principaux repères au niveau des tissus mous utiles dans la cadre d'une étude céphalométrique en relation avec la prothèse amovible complète [1]. 19

Figure 8: Téléradiographie de M.T. 11 ans 9 mois, annotée avec les points nerveux NP, ES, TM [22]. 20

Figure 9: Plans d'intérêt pour l'étude 2D du plan d'occlusion prothèse amovible complète [1]. 21

Figure 10: Représentation du plan axio-orbitaire chez le patient, sur l'arc facial et l'articulateur [33]. ... 22

Figure 11: Schéma du crâne de profil. Le plan de Francfort (ou "Deutsche Horizontale") est représenté en vert [36]. 23

Figure 12: Orientation du plan incisif respectant la courbure des lèvres [1]. 24

Figure 13: Principaux plans de référence [1]. 25

Figure 14: Représentation graphique de la courbe de Spee [48]. 26

Figure 15: Représentation graphique de la courbe de Wilson [44]. 27

Figure 16: Schéma de la sphère de Monson [55]. 28

Figure 17: Analyse de Sassouni. Tracé des plans passant par le cercle de centre O et de diamètre 15mm [1][24][60]. 38

Figure 18: Tracé des plans passant par le cercle de centre O et de diamètre 15mm et de l'arc antérieur L.N.ENA.PO et basal A.B [1][24][60]. 39

Figure 19: Mise en place et réglage de la table d'orientation du plan d'occlusion prothétique [1]. 40

Figure 20: Étapes de localisation du point Xi de Ricketts [63]. 41

Figure 21: Étapes 2 à 5 du tracé du PO par céphalométrie [21]. 34

Figure 22: Étapes 6 à 8 du tracé du PO par céphalométrie [21]. 35

Figure 23: Exemples de l'application de la méthode de Danguy sur une téléradiographie de profil d'un patient denté [21][20][59]. 36

Figure 24 : Image de la téléradiographie de profil de la patiente avec les bases d'occlusion en bouche.. 43

Figure 25 : Image de la téléradiographie de profil de la patiente sans les bases d'occlusion en bouche. 44

Figure 26: Tracés de l'analyse de Danguy sur la téléradiographie avec les bases d'occlusion réglées en bouche. 45

Figure 27: Tracés de l'analyse de Danguy sur la téléradiographie sans les bases d'occlusion réglées en bouche 46

Figure 28: Réalisation des tracés de l'analyse de Sassouni sur la téléradiographie de profil avec les bases d'occlusion réglées en bouche 48

Figure 29: Tracés de l'analyse de Sassouni sur la téléradiographie de profil sans les bases d'occlusion en bouche. 49

Figure 30: Réalisation des tracés de l'analyse de Ricketts sur la téléradiographie de profil avec les bases d'occlusion réglées en bouche. 51

Figure 31: Réalisation des tracés de l'analyse de Ricketts sur la téléradiographie de profil sans les bases d'occlusions en bouche. 53

Figure 32: Interface du logiciel Avizo. 59

Figure 33: Rendu volumique du CBCT sur Avizo®. 60

Figure 34: Segmentation et isosurface de l'os. 61

Figure 35: Construction finale du Plan d'Occlusion en 3D avec les landmarks ; En **vert** : Le **plan palatin** (construit par ENP-ENA) ; En **rouge** le **plan mandibulaire** (construit par Go-Me) ; En **Bleu** le **plan d'occlusion** (Bissectrice de l'angle plan palatin- plan mandibulaire). 62

Figure 36: Vue latérale du plan d'occlusion. 63

Figure 37: Vue frontale du plan d'occlusion. 64

Figure 38: Vue axiale du plan d'occlusion. 64

Figure 39: Plan et points nerveux Np-Es-Tm sur le modèle 3D. 66

Figure 40: Construction finale du Plan d'Occlusion en 3D adapté de la méthode Danguy; En **vert** : les **plans nerveux** Np-Es et Es-Tm ; En **rouge** le **plan d'occlusion** 67

Index des tableaux

Tableau 1 : Points de référence sur une téléradiographie de profil en rapport avec la PAC (Fig.5) [1]. 16

Tableau 2 : Repères au niveau des tissus mous sur une vue de profil (Fig.7) [1]. 19

Tableau 3 : Les trois points nerveux (Fig.8). 20

Tableau 4 : Plans de référence sur une téléradiographie de profil en rapport avec la PAC (Fig.9) [23][24][25][26][27]. 21

Tableau 5 : Éléments de diagnostics céphalométriques sur une vue de profil selon Sassouni (Fig.17). 37

Tableau 6 : Guide des indications de radiologie pour le patient adulte édenté (d'après HAS et al., 2006 et Commission européenne, 2004) 79

Annexes

Annexe 1 : Principes de radioprotection

La réalisation des clichés radiographiques n'est pas un acte anodin et peut avoir des conséquences sur la santé des personnes exposées. Pour éviter des dérives et une utilisation injustifiée de celles-ci des recommandations émanant d'organismes comme l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) et de la Haute Autorité de Santé (HAS) sont mises à disposition des professionnels de santé.

Parmi ces recommandations on trouve plus particulièrement le « guide des indications et procédures des examens radiologiques en odontostomatologie » sur lequel le praticien peut s'appuyer pour s'orienter dans ses choix et les protocoles [66].

Ces procédures doivent répondre à trois impératifs :

- La justification : confirmation argumentée de l'indication clinique et du choix de la technique d'imagerie [11].
    - Le choix de la réalisation d'un cliché radiographique doit être soumis à une réflexion sur les bénéfices et les risques qui lui sont associés.

- L'optimisation : concept qui vise une utilisation des rayonnements ionisants la plus adaptée compte-tenu du facteur humain, social et économique.
    - Les doses appliquées doivent être les plus basses possibles compatibles avec une bonne réalisation du cliché.

- La limitation des expositions : mesures qui visent à réduire au maximum les risques des effets stochastiques et à prévenir les effets déterministes notamment au niveau de la peau, du cristallin et des extrémités.

- Pour ceci les doses reçues doivent être maintenues en-dessous des valeurs limites fixées règlementairement.[67][68][69][70]

De ce fait une activité nucléaire ne doit être engagée que si elle est justifiée, et s'il n'existe pas une technique moins irradiante aboutissant aux mêmes résultats.

Un tableau publié par la HAS réfère les principales indications des différents clichés en fonction de l'état buccal du patient et de l'élément recherché.

Tableau 6 : Guide des indications de radiologie pour le patient adulte édenté (d'après HAS et al., 2006 et Commission européenne, 2004)

Patient adulte édenté	
Panoramique si l'examen clinique le justifie et que cela est techniquement possible	Première visite
Clichés rétro-alvéolaires, rétro-coronaires, sélectifs, clichés occlusaux dans le cadre d'un examen personnalisé	
Panoramique ou imagerie sectionnelle pour un examen pré-chirurgical des troisièmes molaires, des pathologies diffuses ou traumatisme osseux	Examen pré-chirurgical, analyse des pathologies ou des traumatismes osseux
Cliché rétro-alvéolaire en première intention puis imagerie sectionnelle si nécessaire en cas de site implantaire unique	Implantologie
Panoramique en première intention puis imagerie sectionnelle si nécessaire en cas de sites implantaires multiples	

L'indication d'un Cone Beam Computed Tomography (CBCT) n'est que rarement posée en première intention et seulement dans le cadre des études en implantologie, des examens pré-chirurgicaux, des analyses des pathologies ou des traumatismes osseux.

Le CBCT n’est pas, dans les dispositions actuelles régi par l’Autorité de Sûreté Nucléaire, indiqué dans le cadre de l’étude d’un patient édenté total et se limite aux cas études et de planification pour la pose d’implants ou à la recherche d’une potentielle lésion.

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année [2022]

Étude céphalométrique en rapport avec la prothèse amovible totale : Détermination du plan d'occlusion en fonction d'une téléradiographie et d'un CBCT.
/ **Hottiaux Kimberley**.- p.82 : ill.40; réf.70.

Domaines : Prothèses ; Orthodontie ; Radiologie

Mots clés : Occlusion plan d'occlusion
Analyse Céphalométrique
Flux numérique 3D

Résumé de la thèse :

La céphalométrie est une pratique à la base de la méthode de conception en prothèse amovible complète actuelle. En 1967 elle est intégrée aux enseignements de prothèse amovible complète pour être aujourd'hui dispensée essentiellement dans le cadre de la pratique de l'orthodontie.

Appliquée et adaptée au patient totalement édenté la céphalométrie permet de vérifier la bonne orientation en 2D du plan d'occlusion prothétique au travers des téléradiographies des patients. Si l'analyse 2D ne peut être transposable directement en 3D, celle-ci sert de guide dans la recherche d'une méthode de construction reproductible du plan d'occlusion sur le CBCT du patient.

Cette nouvelle approche de la céphalométrie combinée à la PAC permet d'envisager un futur dans lequel les étapes conventionnelles prothétiques seront remplacées par des étapes essentiellement numériques.

JURY :
Président : Pr Thomas COLARD
Assesseurs : Dr Claude LEFEVRE
Dr Thierry DELCAMBRE
Dr Antoine PONCHANT