



HAL
open science

Évaluation tridimensionnelle de l'impact des chirurgies orthognatiques sur les tissus mous de la face. Mise au point d'un protocole

Marie Pavelic

► **To cite this version:**

Marie Pavelic. Évaluation tridimensionnelle de l'impact des chirurgies orthognatiques sur les tissus mous de la face. Mise au point d'un protocole. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03274480

HAL Id: dumas-03274480

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03274480>

Submitted on 30 Jun 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Thèse pour l'obtention du
DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par Marie PAVELIC

Née le 26 Novembre 1992 à Pau

Le 15/06/2021

**Évaluation tridimensionnelle de l'impact des chirurgies
orthognatiques sur les tissus mous de la face. Mise au point d'un
protocole.**

Directeur de thèse

Dr Etienne BARDINET

Membres du jury

Présidente	Mle M.J BOILEAU	Professeur des Universités
Directeur	M. E. BARDINET	Maitre de Conférence des Universités
Rapporteur	M. C. BOU	Maitre de Conférence des Universités
Assesseur	Mme A. CAVARE	Ancienne Assistante Hospitalo-Universitaire
Invité	M. M. LAURENTJOYE	Chirurgien Maxillo-Facial

Président M. TUNON DE LARA Manuel

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

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

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

ENSEIGNANTS DE L'UFR

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

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

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

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

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

AUTRES ENSEIGNANTS

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

ASSISTANTS

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

Remerciements

A notre Présidente de thèse,

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

*A vous qui nous faites l'honneur de présider ce jury,
Je vous remercie pour la qualité de vos enseignements, pour votre goût et votre investissement dans la transmission de cette spécialité et pour votre patience infinie.
Je vous remercie surtout pour votre gentillesse et votre bienveillance à mon égard, pour votre accompagnement sans faille tout le long de cet internat.
Veuillez trouver dans ce travail le témoignage de ma profonde estime.*

A notre Directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Etienne BARDINET
Maitre de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section Orthopédie Dento-Faciale 56-01

*A vous qui nous avez fait l'honneur de diriger ce travail,
Je vous remercie pour votre rigueur et votre implication dans la transmission de vos connaissances et de votre expérience clinique, toujours dans la bonne humeur, l'humour et la sérénité.
Veuillez trouver dans ce travail le témoignage de mon estime et de mon profond respect.*

A notre Rapporteur de thèse,

Monsieur de Docteur Christophe BOU
Maitre de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section Prévention épidémiologie – Économie de la santé – Odontologie légale 56-02

A vous qui nous avez fait l'honneur de juger notre travail et de participer à ce jury,
Je vous remercie pour votre disponibilité et vos conseils concernant ce travail.
Veuillez trouver ici le témoignage de ma sincère reconnaissance.

A notre Assesseur,

Madame le Docteur Anaïs CAVARE
Assistante Hospitalo-Universitaire
Sous-section Orthopédie Dento-Faciale 56-01

*A vous qui nous faites l'honneur de participer à ce jury,
Je vous remercie pour votre gentillesse, votre dynamisme et votre envie de nous transmettre
aussi bien vos connaissances que votre expérience clinique, ainsi que pour votre présence et
votre disponibilité au cours de nos vacations cliniques.
Veuillez trouver dans ce travail le témoignage de ma profonde gratitude et de mon estime.*

A notre Invité,

Monsieur le Docteur Mathieu LAURENTJOYE
Docteur en Chirurgie Maxillo-Faciale

*A vous qui nous faites l'honneur de participer à ce jury,
Je vous remercie pour votre dévouement dans le partage de vos connaissances et de votre
expérience clinique, ainsi que pour votre aide dans la réalisation de ce travail.
Veuillez trouver dans ce travail le témoignage de ma profonde reconnaissance et de mon
respect.*

Remerciements

Je remercie l'ensemble du corps enseignant de la sous-section d'ODF, les Drs Bazert, Darque, De Brondeau, Lacaule, Lafitte, De Oliveira, Pelourde et Medio pour le partage de leurs connaissances théoriques et cliniques. J'espère pouvoir exercer cette spécialité à la hauteur de la qualité de vos enseignements. Ces années passées avec vous resteront dans ma mémoire.

Table des matières

Introduction.....	11
I. DONNEES ACTUELLES.....	12
1. La chirurgie orthognathique	12
1.1. Généralités	12
1.2. Indications	12
1.3. Différentes interventions chirurgicales	13
1.3.1. Chirurgies du maxillaire (3)	13
1.3.2. Chirurgies mandibulaires	14
1.3.3. Chirurgies complémentaires	14
2. Imagerie 3D appliquée à la chirurgie orthognathique.....	15
2.1. Méthodes d'enregistrement des tissus mous.....	15
2.1.1. Photographie 3D et stéréophotogrammétrie	15
2.1.1.1. Principe.....	15
2.1.1.2. Précautions d'utilisation	17
2.1.1.3. Avantages / Inconvénients.....	17
2.1.2. Laser de surface.....	18
2.1.2.1. Principe.....	18
2.1.2.2. Avantages / Inconvénients.....	18
2.1.3. Vidéo.....	19
2.1.4. Autres méthodes.....	19
2.1.5. Synthèse.....	20
2.2. Méthodes d'enregistrement des tissus durs	21
2.2.1. TDM.....	21
2.2.1.1. Principe.....	21
2.2.1.2. Avantages / inconvénients.....	21
2.2.2. CBCT.....	22
2.2.2.1. Principe.....	22
2.2.2.2. Avantages / inconvénients.....	23
2.2.3. Reconstruction de l'image	24
2.2.4. Dosimétrie - Radioprotection.....	25
2.2.5. Synthèse.....	27
2.3. Méthodes d'enregistrement des tissus dentaires.....	28
2.4. Set up pré-chirurgicaux	29
2.4.1. Principe.....	29
2.4.2. Fiabilité	30
3. Evaluation de l'impact des chirurgies orthognathiques sur les tissus mous de la face	31
3.1. Orientation du patient	31
3.1.1. Définitions.....	31
3.1.2. Enregistrement.....	32
3.2. Méthodes de fusion d'image.....	33
3.3. Méthode de superposition	35
3.3.1. Superposition sur des points.....	35
3.3.2. Superposition sur des surfaces (Iterative Closest Point method ICP).....	35
3.3.3. Fusion des voxels.....	36
3.4. Méthodes d'analyse.....	37
3.5. Revue de la littérature.....	39
3.5.1. Contexte.....	40
3.5.2. Objectifs.....	40
3.5.3. Matériels et méthodes	40
3.5.3.1. Méthodes de recherche.....	40
3.5.3.2. Sélection des études.....	41

3.5.4.	Résultats	42
3.5.4.1.	Description des études	42
3.5.4.2.	Qualité des études incluses.....	56
3.5.4.3.	Résultats mis en évidence.....	56
3.5.5.	Discussion	60
II.	PROPOSITION D'ETABLISSEMENT D'UN PROTOCOLE D'EVALUATION DE L'IMPACT DES CHIRURGIES ORTHOGNATHIQUES SUR LES TISSUS MOUS DE LA FACE.....	63
1.	Population.....	63
2.	Enregistrement de l'image.....	63
3.	Méthode de superposition	65
4.	Méthode d'analyse.....	66
4.1.	Orientation de l'image	66
4.2.	Méthode de mesure.....	66
4.3.	Points céphalométriques.....	67
Schéma : points céphalométriques (54)		Erreur ! Signet non défini.
Schéma : points céphalométriques		68
5.	Discussion.....	69
	Conclusion	71
	Tables des illustrations.....	72
	Bibliographie.....	73

Introduction

Lorsque les limites de l'orthodontie et de l'orthopédie sont atteintes pour corriger les décalages squelettiques et occlusaux, il est nécessaire d'avoir recours à un traitement orthodontico-chirurgical. La chirurgie orthognathique vise à corriger les dysmorphoses squelettiques par repositionnement chirurgical des bases osseuses.

Dans ce cas, les positions du maxillaire et/ou de la mandibule vont alors être modifiées, entraînant avec elles une modification des tissus mous qui leurs sont associés dans les trois dimensions de l'espace.

Généralement, l'esthétique faciale est améliorée après la chirurgie mais ces changements sont appréciables principalement par la modification des tissus mous superficiels au niveau de l'étage moyen et inférieur de la face (forme et dimension du nez, des zones paranasales, des lèvres, projection du menton...). L'avènement de l'imagerie 3D, par sa précision, permet une analyse approfondie des différents tissus et la superposition de ces images permet d'identifier les modifications opérées.

La prédiction de la réponse des tissus mous aux mouvements osseux est une question essentielle aussi bien pour le chirurgien que pour le patient. De nos jours, de nombreux outils numériques se développent pour faciliter cette prédiction avec plus ou moins de précision.

Afin d'améliorer la précision de ces prédictions, il est avant tout nécessaire de bien identifier les changements induits par les mouvements des tissus durs sur les tissus mous associés, et de mettre en évidence l'existence ou non d'un facteur de proportionnalité selon le type d'intervention réalisée.

C'est ce que nous tenterons de faire au cours de cet exposé : dans un premier temps nous ferons un état des lieux des données actuelles concernant la chirurgie orthognathique, l'imagerie 3D appliquée à ce type de chirurgie et sur les méthodes d'évaluation à notre disposition afin d'évaluer leur impact sur les tissus mous superficiels. Nous réaliserons dans ce cadre une revue de la littérature sur l'impact des chirurgies orthognathiques sur les tissus mous faciaux, plus précisément dans la zone péri-maxillaire – zone dans laquelle les mouvements sont les moins prédictibles.

Puis nous proposerons un protocole d'évaluation de l'impact des mouvements des tissus durs sur les tissus mous faciaux.

I. Données actuelles

1. La chirurgie orthognathique

1.1. Généralités

Les objectifs de la chirurgie orthognathique et plus particulièrement des traitements orthodontico-chirurgicaux sont avant tout fonctionnels, visant à normaliser les fonctions ventilatoire, masticatoire, phonatoire, sommeil ; biologiques (positionner les dents dans un contexte parodontal favorable, innocuité articulaire, occlusion fonctionnelle et stable) et esthétique (harmonie du visage et du sourire) de façon stable dans le temps.

Ils vont donc s'accompagner de changements au niveau de la morphologie faciale qui vont avoir des retentissements psychologiques chez le patient, nécessitant un accompagnement aussi bien de la part de l'orthodontiste que du chirurgien.(1)

1.2. Indications

Elles vont pouvoir être posées par l'orthodontiste ou bien par le chirurgien dans différentes situations cliniques(2) :

- Décalages squelettiques sévères concernant le maxillaire, la mandibule ou les deux, dans les sens antéro-postérieur, transversal et vertical.
- SAHOS
- Grands syndromes
- Traitements orthodontiques à compensations alvéolaires impossibles, à risque parodontal ou à risque esthétique.

L'indication sera posée après une analyse approfondie du cas du patient : une anamnèse précise, un examen clinique complet ainsi que des examens complémentaires afin d'analyser le siège du décalage et son importance. Ainsi seront nécessaires des photographies exo-buccales, endo-buccales, des moulages et des examens d'imagerie (panoramique, téléradiographies, imageries 3D). Souvent, dans les prises en charge orthodontico-

chirurgicales, un bilan du sommeil et un bilan fonctionnel complet réalisé par un kinésithérapeute spécialisé seront également prescrits.

1.3. Différentes interventions chirurgicales

Plusieurs types d'interventions chirurgicales peuvent être réalisées selon le siège du décalage squelettiques et en un temps ou en plusieurs temps chirurgicaux.

1.3.1. Chirurgies du maxillaire (3)

Les chirurgies du maxillaire peuvent intervenir en cas de décalage squelettique vertical, antéro-postérieur ou transversal.

Nous nous intéresserons principalement au cours de cet exposé à l'ostéotomie de LeFort I.

L'ostéotomie de Lefort I consiste à séparer le plateau palato-dentaire en le sectionnant horizontalement au-dessus des apex dentaires et verticalement au niveau de la suture ptérygo-maxillaire. Elle permet de mobiliser la totalité de l'arcade maxillaire et de la déplacer dans tous les sens de l'espace.

Grace à cette intervention chirurgicale, il sera possible :

- Pour les décalages squelettiques antéro-postérieurs de réaliser une avancée maxillaire dans les cas de classe III, ou bien un recul maxillaire dans les cas de classe II. Toutefois, le recul maxillaire est très rarement réalisé car techniquement délicat en raison des apophyses ptérygoïdes s'y opposant. De plus, il induit une diminution du volume de la boîte à langue modifiant ainsi la morphologie du carrefour aéro-digestif ; il pourra être envisagé dans les cas où le recul maxillaire est souhaitable de réaliser une ostéotomie segmentaire de recul type ostéotomie de Wassmund.

Cependant, dans ces cas de classe II, l'avancée mandibulaire est le plus souvent privilégiée.

- Pour les décalages verticaux de réaliser une impaction ou une épaction antérieure, postérieure ou les deux dans les cas où respectivement le sens vertical est augmenté ou diminué. Ces gestes peuvent être asymétriques en cas d'asymétrie faciale.
- Pour les décalages transversaux pour répondre à 2 types d'anomalies :
 - Une anomalie de position transversale du maxillaire par rapport au plan sagittal médian se traduisant par une asymétrie faciale.
 - Une anomalie de dimension transversale des mâchoires (excès ou insuffisance d'une mâchoire). Dans le cas de déficit transversal maxillaire, on va réaliser une chirurgie d'expansion maxillaire qui va consister à séparer le maxillaire supérieur en deux grâce à une section médio-palatine faisant suite à une ostéotomie de Le Fort I afin d'écarter les bases alvéolaires. Cette expansion peut soit être faite totalement lors de la chirurgie soit seulement initiée par la réouverture chirurgicale de la suture médio-palatine avant une phase d'orthodontie (disjonction inter-maxillaire).

1.3.2. Chirurgies mandibulaires

Plusieurs ostéotomies mandibulaires existent (Obwegeser, Dalpont, Epker...). Elles permettront elles aussi de venir résoudre des décalages squelettiques antéro-postérieurs, verticaux et transversaux par la mobilisation de la mandibule dans les 3 plans de l'espace (avancée/recul, élévation/abaissement, dérotation, expansion). Il existe aussi des ostéotomies segmentaires de la mandibule.

1.3.3. Chirurgies complémentaires

Des chirurgies complémentaires de contours pourront être associées à ces techniques, visant à améliorer l'harmonie du visage et la fonction. Nous noterons particulièrement :

- Les génioplasties
- Les rhinoplasties

2. Imagerie 3D appliquée à la chirurgie orthognatique

L'enregistrement des données du patient est essentiel pour le diagnostic, la planification du traitement, le suivi du cas mais aussi pour la communication entre les différents acteurs de santé et avec le patient. Jusqu'à aujourd'hui, la 2D aussi bien dans l'imagerie radiologique que dans la photographie était majoritairement utilisée. Cependant, la 2D s'accompagne d'une quantité importante d'erreurs (agrandissement, distorsion, identification de certains points de repère difficiles, dédoublement...) et entraîne donc une perte de données. Elle présente également l'inconvénient d'entraîner une quantité d'irradiation importante par la multiplication des clichés nécessaires.

Les trois types de tissus concernés et/ou impactés par les chirurgies orthognatiques – tissus mous, tissus durs et tissus dentaires – forment une triade qui joue un rôle décisif dans la planification de la chirurgie orthognatique et doivent être enregistrés et analysés.

2.1. Méthodes d'enregistrement des tissus mous

Aujourd'hui de nouvelles techniques telles que la stéréophotogrammétrie ou le laser de surface permettent l'enregistrement rapide de l'anatomie faciale et d'accéder ainsi à de nombreuses mesures linéaires, angulaires, surfaciques et volumiques.

2.1.1. Photographie 3D et stéréophotogrammétrie

2.1.1.1. Principe

On parle de stéréophotogrammétrie lorsque la photographie est utilisée pour reconstituer une image en 3 dimensions.

Elle permet de reproduire avec précision la géométrie de surface du visage et d'en reproduire des données de couleur et de texture pour donner un rendu réaliste. (4)

Elle repose sur le principe de triangulation : à partir de photographies prises d'au moins deux positions différentes ou d'un appareil multi-objectif, on obtient pour chaque point d'un même objet plusieurs lignes de vues. L'intersection de ces lignes de vues détermine pour chaque point de l'objet des coordonnées tridimensionnelles (x, y, z) par repérage mathématique. On obtient ainsi un nuage de points positionnés selon leurs coordonnées formant un maillage correspondant à l'image de la surface de l'objet. (5)

L'acquisition se fait via des appareils photographiques 3D à usage médical dotés du marquage « CE ». Ces appareils peuvent être fixes ou portatifs.

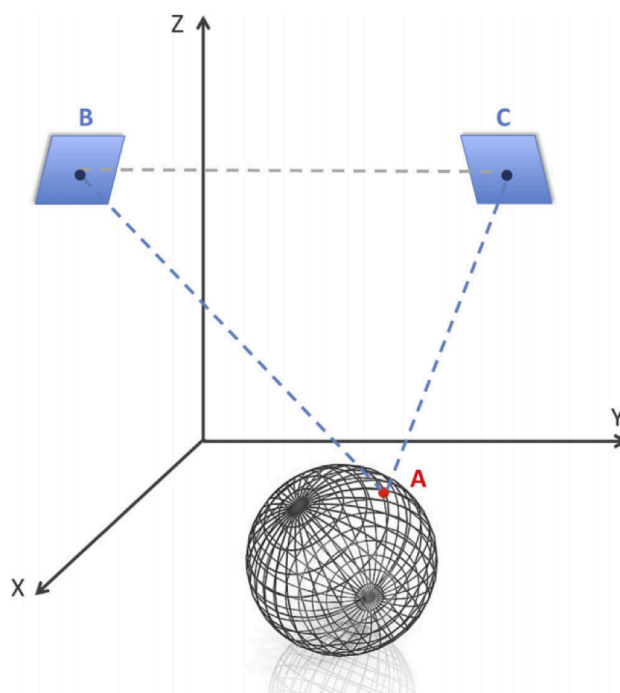


Figure 1 : Principe de triangulation (5)

Le point A est repéré sur 2 prises de vues (B et C). Les distances AB, AC et BC étant connues, l'intersection des deux lignes de vues permet d'attribuer au point A des coordonnées x, y et z .

2.1.1.2. Précautions d'utilisation

Il n'existe pas de contre-indications à l'utilisation de ce type de dispositif, celui-ci n'étant ni irradiant ni invasif.

Toutefois, afin d'obtenir des données exploitables certaines précautions lors de l'enregistrement des données seront nécessaires :

- Contrôler la posture du patient, posture cervico-céphalique standardisée et occlusion en RC,
- Limiter ou dégager les zones pileuses (barbe, cheveux) celles-ci entraînant des artefacts.

Enfin, certaines régions comme les zones sous nasale et sous mentale, compte tenu de la position de la tête, sont sujettes à la perte de données et aux artefacts. Ainsi, selon les zones à étudier, il sera parfois nécessaire de modifier la posture de la tête du patient afin d'enregistrer toutes les données nécessaires. Afin de réduire le risque d'artéfacts, il est également possible de multiplier le nombre de clichés. (6)

2.1.1.3. Avantages / Inconvénients

Avantages :

- Temps d'acquisition rapide (2ms)
- Pas de rayonnement ionisant
- Pas d'artefacts de mouvement
- Faible coût
- Image colorée et texturée

Inconvénients :

- Calibration (éclairage ambiant, taille du patient...)
- Faible précision des surfaces brillantes comme les yeux, les tissus dentaires, les cheveux et des zones de contre dépouille (zones sous nasale et sous mentale)



Figure 2 : Exemple d'images acquises par stéréophotogrammétrie (6)

2.1.2. Laser de surface

2.1.2.1. Principe

C'est un examen non invasif et non irradiant permettant d'enregistrer la morphologie faciale et les tissus mous en reproduisant leur couleur et leur texture. (7)

Il est également basé sur le principe de triangulation : il projette un point ou une ligne laser sur un objet et enregistre son reflet à l'aide de capteurs.

2.1.2.2. Avantages / Inconvénients

Avantages : très bonne résolution et précision, texture

Inconvénients :

- Nocif pour les yeux (pas tous actuellement)
- Temps d'acquisition relativement long (8-30s) entraînant un risque de mouvements durant l'enregistrement
- Coût élevé

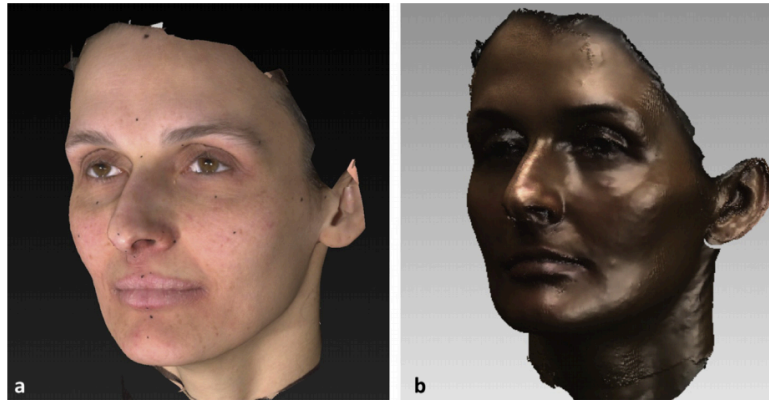


Figure 3 : Comparaison des images d'une même personne acquises par stéréophotogrammétrie (a) et par un scanner laser (b) (8)

2.1.3. Vidéo

Les méthodes citées ci-dessus sont utilisées pour analyser la morphologie faciale en statique, or, le visage est une structure dynamique. La vidéo permet donc d'enregistrer les mouvements et d'analyser la dynamique des expressions faciales.

Cependant, l'analyse du visage n'est pas assez protocolisée en raison de la complexité du visage humain et de la nécessité d'établir des « mouvements valides ». (9)

2.1.4. Autres méthodes

D'autres méthodes telles que la photographie 2D, l'IRM et l'ultrasonographie peuvent être utilisées pour enregistrer les tissus de surface mais ne seront pas retenues.

En effet la photographie est trop peu précise car en 2D.

L'IRM présente un coût élevé, impose une position allongée du patient durant l'enregistrement et ne donne pas une image texturée de la surface du visage. Le temps d'acquisition est long et il existe donc un risque de mouvements du visage durant l'enregistrement.

L'ultrasonographie demande également un long temps d'acquisition, ne donne pas une image texturée et entraîne une distorsion des surfaces par la pression de la sonde sur la surface à enregistrer.

2.1.5. Synthèse

→ Selon les recommandations de bonne pratique de la société française de stomatologie, chirurgie maxillo-faciale et chirurgie orale, datant de juillet 2017 :

« Pour l'évaluation pré et post-opératoire des tissus mous de la face, les méthodes d'analyse 3D, stéréophotogrammétrie ou scanner laser de surface peuvent être recommandées, comme alternative aux méthodes conventionnelles 2D, plus particulièrement dans des cas complexes d'asymétries faciales, d'anomalies et de dysmorphoses sévères. » (10)

De plus, ces techniques ont une bonne précision et reproductibilité avec une marge d'erreur inférieure à 1mm pour la stéréophotogrammétrie, et de l'ordre de 1,1mm pour le scanner laser. (11)

	Stéréophotogrammétrie	Scanner laser
Absence de radiation	+	+
Texture et couleur de l'image	+	+/-
Précision	+/- (surfaces brillantes)	+
Temps d'acquisition	+	-
Cout	+	-
Iatrogénicité	+	- (yeux)

Tableau 1 : résumé des avantages et inconvénients de la stéréophotogrammétrie et du scanner laser

2.2. Méthodes d'enregistrement des tissus durs

Des années 1930 à aujourd'hui, l'utilisation de la 2D a été le gold standard pour la planification du traitement orthodontique et de la chirurgie orthognathique. Cependant, elle ne procure pas suffisamment d'informations et comporte un risque de biais important notamment d'erreurs d'orientation du patient, d'échelle, de dédoublement et donc ne permet pas une analyse précise.

2.2.1. TDM

2.2.1.1. Principe

La tomодensitométrie est une technique d'imagerie permettant d'obtenir des coupes axiales reconstruites à partir du coefficient d'atténuation des rayons X dans le volume exploré.

L'appareil est constitué d'un tube à rayons X faisant face à des rangées de détecteurs, cet ensemble tournant autour du patient et imposant donc une position allongée de celui-ci.

Le développement du scanner (ou tomодensitomètre) a permis l'évaluation tridimensionnelle des structures cranio-faciales. Il est intéressant pour l'étude des densités, surtout pour les parties molles, mais aussi pour les structures minéralisées.

2.2.1.2. Avantages / inconvénients

Avantages :

- Haute résolution

Inconvénients :

- Dose de rayonnements ionisants
- Artefacts en présence d'éléments métalliques
- Enregistrement en position allongée induisant une modification des tissus mous
- Coût élevé
- Temps d'acquisition plus élevé (artefacts de mouvement)



Figure 4 : Exemple d'image extraite d'un MSCT (12)

2.2.2. CBCT

2.2.2.1. Principe

Le CBCT ou imagerie volumétrique par faisceau conique est une technique tomodensitométrique qui a émergé à la fin des années 90.

Selon un rapport de l'HAS datant de 2009 :

« Cette technique sectionnelle autorise une imagerie de l'ensemble du complexe maxillo-facial ou une exploration complète ou limitée des structures maxillo-mandibulaire et dento-alvéolaire. Les appareils se distinguent du scanner traditionnel qui effectue plusieurs coupes linéaires se superposant lors des multiples rotations du système. Le CBCT travaille non plus avec un faisceau RX mince, mais avec un faisceau ouvert, conique, ce qui lui permettra en une seule révolution de balayer l'ensemble du volume à radiographier. »

Le CBCT a une résolution et une fiabilité comparables à celle du scanner pour explorer les structures minéralisées telles que l'os ou les dents mais ne permet pas la mesure réelle des densités. Seul le scanner permet une mesure réelle des densités des parties molles. Cependant, le CBCT fournit des images de résolution sub-millimétrique avec un temps de balayage court et une dose de rayonnement pouvant être 15 fois inférieure à celle d'un MSCT. (13)

Il est possible avec cette technique de faire varier le champ d'irradiation ainsi que la résolution d'image. La variation des paramètres entraîne des différences significatives dans la qualité de l'image. Il est donc nécessaire de pouvoir sélectionner différents paramètres permettant de délivrer la dose minimale possible au patient tout en ayant une qualité d'image suffisante.

2.2.2.2. Avantages / inconvénients

Avantages :

- Moins irradiant que le scanner
- Moins d'artefacts au niveau occlusal
- Positionnement naturel de la tête possible

Inconvénients :

- La dose plus faible de rayonnement entraîne une image contenant plus de bruit et de valeur de gris
- Mauvais enregistrement des tissus mous car faible résolution en densité (différence de contraste entre deux structures adjacentes) : ainsi il y a un contraste insuffisant dans les parties molles qui limite leur analyse
- Immobilité (coopération nécessaire)
- Appui mentonnier ou occipital
- Petite taille des capteurs ne permettant qu'un enregistrement de la sphère oro-faciale. Cependant grâce aux avancées technologiques, il commence à émerger de nouveaux modèles de CBCT permettant de faire du très grand champ ou il est possible de réaliser des reconstructions à partir de plusieurs acquisitions.

Une reconstruction CBCT contient la surface des tissus mous, le volume osseux et les dents, mais la peau est non texturée et les structures dentaires peuvent contenir des artefacts causés par des restaurations ou des appareils orthodontiques.

2.2.3. Reconstruction de l'image

Pour ces deux techniques, en complément des coupes natives, il existe des méthodes de reconstruction tridimensionnelle permettant d'améliorer le diagnostic et de faciliter la visualisation des structures. Elles permettent de synthétiser l'information obtenue à partir de centaines de coupes natives.

Il est possible d'obtenir plusieurs types de reconstructions d'images :

- Soit une reconstruction multiplanaire (MPR): reconstruction de coupes dirigées suivant n'importe quel plan de l'espace et ainsi permettant l'évaluation de l'anatomie dans tous ces plans. Cependant, elles ne permettent pas une vision globale de l'anatomie sur une seule image.
- Soit un rendu surfacique : permet l'extraction de la surface de l'organe à représenter grâce à une technique de segmentation. Cette technique consiste à sélectionner un intervalle de densité des voxels dans lequel se trouve le volume à représenter, permettant d'exclure les voxels à l'extérieur de cet intervalle. Cette technique présente l'inconvénient de générer des pertes d'informations liées au choix de seuil de densité.
- Soit un rendu volumique : seule technique permettant la représentation de l'ensemble des données du volume sur un plan en affectant des coefficients de transparence et des couleurs variables aux voxels en fonction de leur densité. Elle permet de visualiser simultanément des structures tissulaires différentes et de les différencier. Il est également possible avec cette technique de supprimer ou faire apparaître certaines structures. Le principal inconvénient de cette technique est le temps passé à créer des images pertinentes.(15)(16)

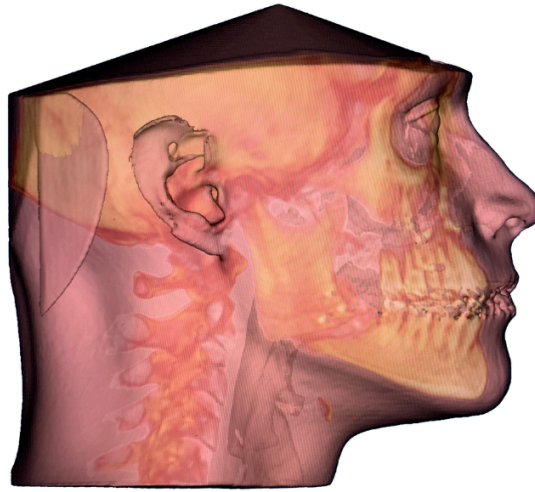


Figure 6 : Exemple de rendu volumique d'un CBCT facial – Courtoisie du Dr Laurentjaye

Concernant l'analyse céphalométrique, les mesures linéaires sur reconstruction multiplanaires sont plus précises que celles sur rendu volumique. L'identification et le ciblage des repères anatomiques doivent être effectués en mode reconstruction multiplanaire. (17)

2.2.4. Dosimétrie - Radioprotection

La mise en œuvre des rayonnements ionisants est régie par trois grands principes, visant à protéger les individus des risques qui leurs sont associés. Ils sont régis en France par l'article L 1333 du Code de la Santé Publique :

Le principe de justification : « une activité nucléaire ou une intervention ne peut être entreprise ou exercée que si elle est justifiée par les avantages qu'elle procure [...], rapportés aux risques inhérents à l'exposition aux rayonnement ionisants auxquels elle est susceptible de soumettre les personnes. » Il correspond à une évaluation du rapport bénéfice/risque.

Le principe d'optimisation ou ALARA : « l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants [...] doit être maintenue au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre compte tenu de l'état des techniques, des facteurs économiques et sociaux et, le cas échéant, de l'objectif médical recherché ». Il sera donc nécessaire de minimiser l'intensité de la source d'exposition, et de diminuer la fréquence et ou la durée d'exposition.

Le principe de limitation : « l'exposition d'une personne aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités ne peut porter la somme des doses reçues au-delà des limites fixées par

voie réglementaire, sauf lorsque cette personne est l'objet d'une exposition à des fins médicales ou de recherche biomédicale ».

Il est donc nécessaire dans notre pratique, afin de respecter ces principes, de connaître la quantité de rayonnements ionisants délivrés lors des examens que nous prescrivons à nos patients afin d'obtenir le maximum d'informations pour une irradiation minimale.

Selon le rapport de la HAS datant de 2009, les doses efficaces délivrées par les différents types d'imageries pouvant être prescrits dans notre pratique sont les suivants :

Panoramique dentaire : 4-30 microSv

Téléradiographie de profil : 2-3 microSv

Tomodensitométrie du crane : 400-1000 microSv

Tomographie volumique grand champ : 70-550 microSv

Dans une étude réalisée en 2017 par Feragalli et al., un protocole d'imagerie faiblement ionisant a été proposé pour l'acquisition d'images CBCT à visée dentaire et maxillo-faciale. Un enregistrement grand champ, avec des images de qualité de résolution normales (80kVp, 5mA) et un temps d'acquisition de 15s a délivré une dose efficace de 35microSv, permettant une étude de la région maxillo-faciale avec des images de haute qualité et une très faible dose de rayonnement ionisant. (18) Selon ce protocole, la quantité de rayonnements ionisants délivrée est donc environ équivalente à celle délivrée lors de la réalisation d'une radiographie panoramique associée à une téléradiographie de profil et de face, examens classiquement prescrits dans un examen de base en orthodontie.

Une revue de la littérature sur les nouveaux protocoles de CBCT « low dose » a été réalisée en 2019 par Yeung et al. (19) Ils définissent ces protocoles comme des procédures réduisant les facteurs d'exposition sans perte inacceptable de qualité d'image à des fins diagnostiques. Pour un champ large, la dose efficace variait entre 52 et 1410 microSv. Ils concluent toutefois que la plupart des études réalisées avec ces protocoles ne sont pas des études cliniques et que si elles ouvrent des perspectives intéressantes quant à l'utilisation du CBCT dans les domaines dentaires et maxillo-facial, il y a un manque de prise de position et de recommandations cliniques par les organismes faisant autorité concernant l'utilisation de ces protocoles.

2.2.5. Synthèse

→ Selon les recommandations de bonne pratique de la société française de stomatologie, chirurgie maxillo-faciale et chirurgie orale, datant de juillet 2017 :

« Pour l'évaluation des tissus squelettiques de la face, les méthodes d'imagerie 3D (CBCT/TDM) peuvent être recommandées en alternative au bilan conventionnel 2D (radiographie panoramique et téléradiographies voire radiographie intra-orale complémentaire) pour évaluer certaines anomalies cranio-faciales afin d'optimiser la prise en charge ortho-chirurgicale et en évaluer les résultats. Dans tous les cas, le principe ALARA doit être respecté ».

« Dans le cadre de la chirurgie orthognathique, les experts recommandent, au minimum, un bilan radiologique conventionnel en pré-opératoire puis en post-opératoire dans la première semaine et à 6mois-1an. Des bilans intermédiaires peuvent être nécessaires en fonction de l'évolution clinique ».

« L'identification des points de référence pour l'analyse céphalométrique 3D est fiable et comparable entre le CBCT et le scanner ».

	MSCT	CBCT
Irradiation	-	+
Artefacts	-	+
Positionnement du patient	- (allongé)	+ (mais appui frontal ou mentonnier)
Tissus mous	-	-
Cout	-	-
Temps d'acquisition	-	-
Qualité de l'image	+	+/-

Tableau 2 : résumé des avantages et inconvénients du MSCT et du CBCT dans le cadre de la chirurgie orthognathique

2.3. Méthodes d'enregistrement des tissus dentaires

Nous ne détaillerons pas cette partie car elle ne fera pas l'objet de notre travail.

Il est à noter toutefois que pour réaliser un modèle total de superposition, cet élément est nécessaire et son enregistrement peut se faire de plusieurs façons : via des empreintes manuelles faisant appel à une étape de laboratoire, ou via des empreintes optiques (20). Il est également possible d'utiliser les images des arcades extraites du MSCT ou du CBCT. Cependant, ces données sont de faible qualité compte tenu des nombreux artefacts liés aux appareillages ou restaurations dentaires.

2.4. Set up pré-chirurgicaux

2.4.1. Principe

Depuis longtemps, afin de donner une approche esthétique du visage en fin de traitement, le set up chirurgical se fait en 2 D à partir de téléradiographies de profil en déplaçant les bases osseuses dans la position post opératoire souhaitée et en réalisant une estimation des déplacements des tissus mous. Cela permet de simuler les ostéotomies, de choisir et quantifier les déplacements osseux, de choisir entre différentes options thérapeutiques et visualiser les déplacements orthodontiques à réaliser avant la chirurgie. (21)

Les logiciels de planification 3D ont émergé à la fin des années 1980 avec l'essor des techniques d'imagerie tridimensionnelle. Ils ont permis de documenter, analyser et planifier le traitement du patient dans les 3 plans de l'espace afin d'obtenir une simulation des résultats en fin de traitement plus précis et d'essayer d'obtenir des résultats esthétiques et occlusaux optimaux.

Ils constituent la seule aide visuelle en 3D disponible pour constituer une simulation de l'apparence prévue en fin de traitement.

Un bon enregistrement des tissus mous, squelettiques et dentaires est le préalable nécessaire à la planification de la chirurgie orthognathique. La combinaison de ces trois types de structures, avec des qualités suffisantes pour chacun, permettant de créer un patient virtuel n'est possible que par la fusion d'image.

Cette technologie permet de :

- Réaliser des ostéotomies virtuelles
- Repositionner les structures osseuses selon les mouvements chirurgicaux
- Contrôler l'occlusion
- Contrôler les interférences
- Essayer de « prédire » les résultats au niveau des tissus mous
- Faciliter la communication entre orthodontiste et chirurgien
- Fabriquer des gouttières chirurgicales

2.4.2. Fiabilité

Geert Van Hemelen et al. avancent dans une étude de 2015 que si la prédiction des mouvements des tissus durs en 2D est comparable à celle en 3D, la 3D permet une planification plus précise des tissus mous. (22)

Une étude menée par C.M. Resnick et al. en 2017 évaluant la fiabilité dans la prédiction des mouvements des tissus mous par le logiciel Dolphin 3D pour des chirurgies de Lefort 1 a montré que la capacité de prédiction était limitée. En effet ils ont mesuré des erreurs de prédictions linéaires de 2,91 +/- 2,16mm et une erreur moyenne de l'angle naso-labial de 8,1 +/- 5,6°. (23)

Une autre étude menée en 2019 par P.G.M Knoop a comparé les prédictions de différents logiciels : Dolphin et ProPlan CMF et une méthode probabiliste des éléments finis (PFEM). Ils ont montré qu'avec Dolphin, les déplacements des tissus mous étaient principalement localisés dans la région de la lèvre supérieure tandis que la région para nasale montrait un mouvement limité. Avec ProPlan et PFEM, le déplacement de la lèvre supérieure et de la région para nasale était plus continu. Ils ont également trouvé que le déplacement de la région para nasale avec Dolphin était sous-estimé, alors que ProPlan et PFEM surestimaient le déplacement de la zone au-dessus du cheilion. Ils concluent que ces différents logiciels apportent des informations cliniquement utiles lorsque l'on considère le RMS global (distances quadratiques moyennes : mesure utilisée pour décrire l'écart entre 2 surfaces) et le pourcentage de points entre les deux surfaces dont la distance est inférieure à 2mm, mais qu'il est important de garder à l'esprit qu'il existe une inadéquation entre la position maxillaire planifiée et post-opératoire. (24)

D'autre part, certains auteurs tels que Khambay B et Ullah R. avancent que pour être fiable, la technique devrait tenir compte des changements squelettiques survenus suite à la chirurgie mais aussi d'une certaine quantité de récurrence. Or celle-ci est imprévisible et il serait donc impossible de prédire le résultat final. (25)

→ Aujourd'hui, les prédictions post-opératoires sont fiables dans certains domaines mais peu fiables concernant la prédiction des mouvements des tissus mous, plus particulièrement dans la zone nasale et maxillaire. Il est donc nécessaire si les prévisualisations sont montrées au patient de le prévenir que des variations par rapport à ces images seront probables.

3. Evaluation de l'impact des chirurgies orthognathiques sur les tissus mous de la face

Afin d'évaluer l'impact des chirurgies orthognathiques sur les tissus mous de surface de la manière la plus fiable et reproductible possible, plusieurs étapes seront nécessaires et plusieurs éléments devront être pris en compte : le positionnement du patient lors de l'enregistrement des différents éléments de la triade, la méthode de superposition des images obtenues et la méthode d'analyse de ces superpositions.

3.1. Orientation du patient

Le positionnement correct de la tête du patient est nécessaire afin de permettre une évaluation objective du profil du visage et du crane ainsi que pour les superpositions.

Afin d'analyser et de comparer ces données, il faudrait en théorie placer le patient toujours dans la même position entre les différents examens.

De plus, les images tridimensionnelles sont prises avec des dispositifs de positionnement permettant d'assurer la stabilité du patient durant l'enregistrement, ceux-ci plaçant la tête dans une orientation aléatoire.

Ainsi, si l'image n'est pas enregistrée dans la position naturelle de la tête – qui d'une part est difficile à déterminer et d'autre part qui pourrait changer entre le pré et le post-opératoire - il sera nécessaire de réorienter les images afin de permettre une évaluation appropriée des décalages cranio-dento-faciaux avant toute planification chirurgicale afin de pouvoir analyser la direction et l'amplitude des mouvements réalisés.

3.1.1. Définitions

Il est nécessaire de distinguer la position et la posture naturelles de la tête. (26)

La position naturelle de la tête est une position standardisée et reproductible de la tête impliquant que le sujet ait la tête en position verticale, les yeux focalisés sur un point à hauteur

de ses yeux, donc avec un axe visuel horizontal. C'est une procédure standard appliquée aux sujets pour l'analyse de la morphologie cranio faciale.

La posture naturelle de la tête est la posture physiologique et reproductible de la tête pour une personne mais qui est individuelle. Elle permet d'étudier la relation entre posture et caractéristiques morphologiques.

Pour l'analyse céphalométrique, la position naturelle de la tête qui est standardisée est préférable à la posture naturelle de la tête qui elle est soumise aux variations interindividuelles.(27)

3.1.2. Enregistrement

Les plans anatomiques tels que le plan de Francfort ont pendant longtemps et sont toujours utilisés afin de régler le positionnement de la tête. Cependant, plusieurs auteurs ont relevé une grande variabilité dans l'inclinaison des lignes de référence intracrâniennes, rendant l'analyse basée sur ces mesures potentiellement trompeuse avec d'importantes implications pour la planification des traitements orthodontique et orthognathique. De plus, la position naturelle de la tête représente l'apparence réelle du patient, elle est donc préférable pour évaluer le profil et la position des mâchoires, et déterminer les objectifs de traitement. Ainsi, les repères et plans céphalométriques communs doivent être utilisés avec réserve pour orienter le modèle du crane du patient.

Bien que la position naturelle de la tête ait moins de variabilité que les lignes de référence intracrâniennes, elle est influencée par l'équilibre, la vision et la proprioception des articulations et muscles impliqués dans le maintien de la posture. Il ne s'agit pas d'une mesure angulaire unique mais d'une petite plage d'angles oscillant autour d'une posture moyenne.

Selon une revue de la littérature réalisée en 2016 par Leung et Al (28), six modalités d'enregistrement de la position naturelle de la tête ont été identifiées :

- Stéréophotogrammétrie
- Marquages faciaux le long de lignes laser

- Photographies cliniques et méthode POSIT
- Capteur d'orientation numérique
- Système de mesure de caméra 3D portable
- Balayage laser

Selon cette revue, l'enregistrement par capteur d'orientation numérique a une bonne précision. Le balayage laser a une précision comparable mais son utilisation routinière est limitée par son coût élevé et sa faible portabilité. La méthode POSIT et la stéréophotogrammétrie montrent également une bonne précision.

Une étude réalisée en 2018 par Yang et Al.(29) a montré que si des techniques faisant appel à des logiciels particuliers telles que la méthode POSIT (gold standard) n'étaient pas possibles, un repositionnement manuel à l'aide de photographies réalisées en position naturelle de la tête est une alternative acceptable. Il se fera alors à l'aide de lignes de références ou de points de repères au niveau des tissus mous.

La méthode POSIT présente toutefois une précision supérieure statistiquement significative. Un repositionnement manuel sans informations cliniques ne doit pas être utilisé.

3.2. Méthodes de fusion d'image

Aucune des techniques d'imageries citées ci-dessus ne peut capturer la triade complète avec une qualité optimale. Cela ne peut être réalisé que par fusion d'images afin de créer une tête virtuelle prenant en compte tous ces éléments.

Un modèle de fusion est défini comme une composition d'au moins deux différentes techniques d'imagerie. Il correspond à la création d'une donnée unique comprenant toutes les structures de la triade.

Il existe 3 méthodes de fusion de données :

- Appariement sur les points
- Appariement sur la surface
- Appariement sur les voxels (pixels en 3D)

Ainsi, il est possible de réaliser 4 types de modèles de fusion :

- Modèle de fusion des tissus squelettiques et des tissus dentaires
- Modèle de fusion des tissus mous et de la dentition
- Modèle de fusion des tissus mous faciaux et des tissus squelettiques
- Modèle de fusion des tissus mous, squelettiques et dentaires

Nous nous intéresserons au cours de ce travail aux 2 derniers modèles de fusion

Pour l'appariement des tissus mous et squelettiques, il existe 3 méthodes :

- Fusion d'une photographie 3D avec une téléradiographie de profil
- Fusion de photographies 2D sur des données de CBCT ou MSCT
- Fusion de photographies 3D ou un scanner de surface laser avec une reconstruction de données MSCT ou CBCT

Il est également possible de réaliser un modèle total de fusion comprenant les tissus squelettiques (CT), les tissus dentaires (moulages ou empreintes optiques), et les tissus mous faciaux texturés (photographie 3D, laser).

L'avantage de ce modèle total de fusion ouvre le champ des possibles grâce à sa précision afin de réaliser des mesures et des analyses approfondies et de simuler les gestes chirurgicaux.

Cependant, il présente aussi des inconvénients : radiations ionisantes, collecte séparée des données, pas de processus de fusion automatisé, temps de calcul très long, nombreuses étapes semi-automatisées donc soumises à erreur, coût élevé, manipulateur expérimenté.

→ Selon les recommandations de bonne pratique de la société française de stomatologie, chirurgie maxillo-faciale et chirurgie orale, datant de juillet 2017 :

« La fusion des 3 types de données, squelettiques, tissus mous et dentaires pour créer un modèle facial numérique d'un patient, dans des conditions statiques, est une technique faisable pour l'évaluation clinique préopératoire, la planification du traitement et le suivi post-opératoire. Cependant à ce jour, il est recommandé de prendre en compte que ces techniques nécessitent d'être améliorées en termes d'efficacité et de rapidité ».

3.3.Méthode de superposition

La superposition d'images est un enjeu important car elle permet d'évaluer la croissance cranio-faciale d'un patient ou dans le cadre de notre travail de comparer les structures cranio-faciales avant et après traitement.

Elle peut être réalisée par enregistrement de points céphalométriques stables ou par concordance maximale de structures anatomiques stables telles que la base crânienne antérieure, réalisé par un logiciel. (17)

3.3.1. Superposition sur des points

Dans cette approche, des points de repère - ou landmarks - facilement identifiables sont marqués sur les images volumétriques à comparer qui coïncideront lorsque la superposition sera effectuée. Dans ce cas-là, on peut manuellement déplacer les images superposées afin d'affiner au mieux la superposition. (17)

3.3.2. Superposition sur des surfaces (Iterative Closest Point method ICP)

Dans cette technique, un opérateur définit manuellement une surface sur le scan (ex : partie antérieure de la base crânienne) puis le logiciel fusionne les points de repères identiques sur les surfaces sélectionnées des 2 scans et termine, à partir de cette zone, la superposition. (17)
Cette méthode est précise et reproductible.

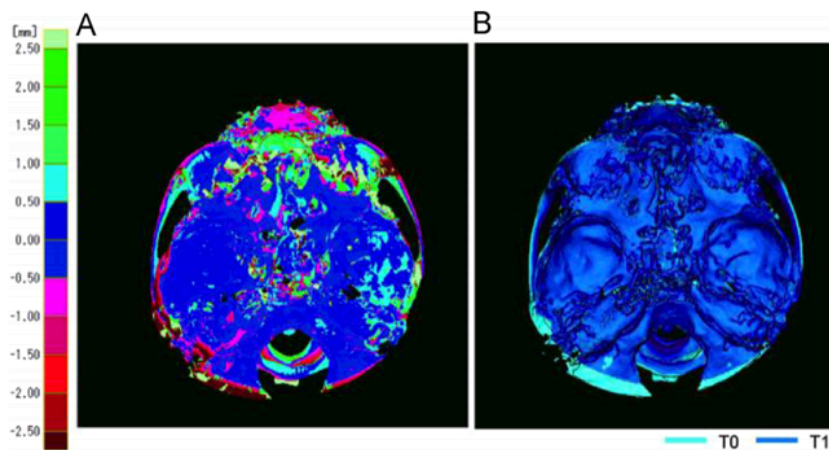


Figure 7 : la méthode ICP. (A) Superposition réalisée sur toutes les structures de la base crânienne à l'exception de la zone de croissance périphérique. (B) Image de fusion des CBCT pré et post traitement, superposés sur la base du crâne. (17)

3.3.3. Fusion des voxels

Cette méthode utilise la différence de gris des voxels pour aligner les images sur la meilleure superposition en obtenant la moindre différence de densité d'échelle de gris totale entre les deux images.

Dans ces 2 dernières approches, ce sont des algorithmes mathématiques qui réalisent la superposition. Le scan initial est pris comme référence et le logiciel va superposer le deuxième scan dans sa position la plus adaptée « best-fit position » de façon automatique.

La superposition est dans ce cas-là plus rapide et ne dépend pas des compétences d'un opérateur.

Une étude réalisée par Almkhatar A. et Al en 2014 a montré qu'il n'y avait pas de différences statistiquement significatives entre ces deux dernières méthodes quant à la fiabilité de superposition. (30)

→ Cevidanes et al. ont déterminé qu'un enregistrement précis de la partie antérieure de la base du crane (corticale interne de l'os frontal, partie supérieure de l'orbite, partie supérieure de l'ethmoïde et de la lame criblée, plancher et petites ailes du sphénoïde, partie antérieure des processus clinoides et la partie antérieure de la selle turcique) permet une évaluation fiable des changements cranio-faciaux. (31) Cette zone est considérée comme l'une des structures les plus fiables pour la superposition 3D.

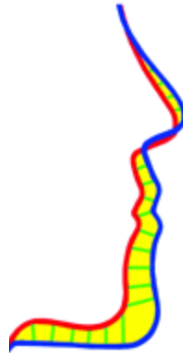


Figure 8 : Méthode ICP (appariement entre points les plus proches et non entre les points correspondants) (32)

3.4. Méthodes d'analyse

Plusieurs techniques d'analyse ont été relevées :

- Mesure des distances entre des points de repère spécifiques : cette méthode utilisée dans l'analyse d'image 2D sous-utilise les données disponibles dans la 3D. En effet, elle permet de décrire le changement d'un point isolé, d'une distance ou d'un angle, de calculer des ratios mais ne tient pas compte d'un changement de forme de la zone étudiée. Certaines études utilisent le changement dans les courbes, élément plus significatif sur le plan clinique et qui utilise le potentiel de la 3D (25). D'autre part, il est nécessaire de considérer le positionnement de ces points et leur reproductibilité dans les 3 plans de l'espace (x,y,z) afin d'avoir des mesures plus fiables.
- Carte de distance inter-surface à code couleur (ICP) : elle permet d'évaluer les changements faciaux en mesurant la distance la plus proche entre les surfaces correspondantes quelle que soit leur correspondance anatomique. Dans cette analyse, ce sont les distances les plus courtes entre les images 3D correspondantes qui sont

mesurées, ce qui ne représente pas forcément les distances réelles entre les points anatomiques correspondants. Son utilisation et sa fiabilité en pratique sont donc limitées. (10)

- Analyse anatomique par correspondance dense. Elle permet une analyse de surface complète grâce à la correspondance anatomique. Elle repose sur l'application d'un maillage (masque facial 3D mathématique), ressemblant à un visage humain, constitué d'un nombre standard de triangles de taille égale avec un ensemble de points ou sommets prédéfinis et indexés. (10) Ce masque peut être déformé pour imiter la morphologie du visage : c'est un processus appelé « conformation ». Ainsi il est possible de suivre les sommets déplacés et donc les changements de morphologies (secondaires à la chirurgie, croissance ou autre). (33) Cette technique permet d'évaluer la quantité et la direction de mouvement.

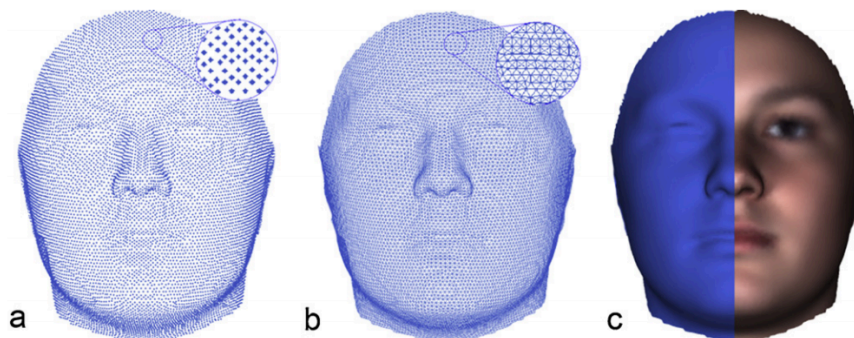


Fig. 1. The AM visualized as a point cloud (a), wireframe (b), partially shaded and textured rendering (c).

Figure 9 : Méthode d'analyse par correspondance dense (34)

Ces deux dernières techniques peuvent être transposées en carte à code couleur afin de simplifier leur analyse. Elles permettent d'analyser la direction et l'amplitude du mouvement réalisé.

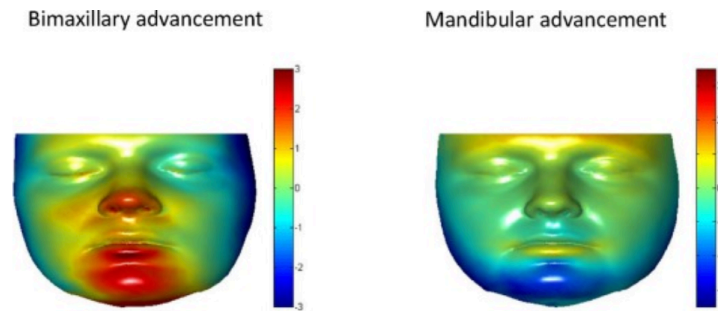


Figure 10 : Exemple de carte à code couleur (10)

Une analyse quantitative des mouvements implique la réalisation de mesures linéaires des distances entre des points de repères spécifiques ou de tous les points des surfaces. (25)

3.5. Revue de la littérature

La plupart des auteurs s'accordent à dire que les mouvements des tissus cutanés dans la région mandibulaire, plus particulièrement dans la zone du menton, suivent les mouvements des tissus durs avec un rapport avoisinant 0,9 dans les 3 dimensions de l'espace. Toutefois, cette affirmation n'est pas vraie concernant les tissus mous maxillaires.

A travers cette revue de la littérature, nous rechercherons à connaître les données actuelles concernant l'impact des mouvements des tissus durs réalisés lors des chirurgies orthognathiques sur les tissus mous superficiels, plus particulièrement de la zone péri-maxillaire.

3.5.1. Contexte

Comme nous avons pu le décrire plus tôt, la quantification de l'impact des traitements par chirurgie orthognathique sur les tissus mous et donc sur l'esthétique faciale du patient est un enjeu important pour les professionnels de santé afin de pouvoir prédire au mieux les résultats attendus en post-chirurgical. En effet, le positionnement idéal des mâchoires ne s'accompagne pas forcément d'une apparence idéale des tissus mous et les rapports ne sont pas forcément de 1 :1.

Avec le développement croissant des techniques d'imagerie 3D, et l'essor des logiciels de set up numérique, l'évaluation la plus précise possible des changements cutanés liés aux traitements chirurgico-orthodontiques permettrait d'avoir une visibilité des résultats attendus et de guider les praticiens dans l'élaboration de ces plans de traitement.

3.5.2. Objectifs

Trouver dans la littérature les données actuelles mesurant l'impact des chirurgies orthognathiques sur les tissus mous faciaux dans la zone péri-maxillaire.

3.5.3. Matériels et méthodes

3.5.3.1. Méthodes de recherche

Une recherche électronique avec l'équation de recherche ((orthognathic surgery) AND soft tissue) AND 3D, a été entreprise sur les sites suivants :

- Pubmed
- Google Scholar
- Cochrane
- Scopus

Aucune restriction dans les dates, les langues ou le type d'étude n'ont été imposées.

Les références bibliographiques des articles originaux ont été analysées afin de mettre en évidence des études supplémentaires.

3.5.3.2. Sélection des études

Les études ont d'abord été sélectionnées d'après leur titre et leur résumé.

Elles ont ensuite été retenues ou non sur leur texte complet. Les études ne présentant pas les critères d'inclusion ou présentant un critère d'exclusion ont été éliminées.

3.5.3.2.1. Critères d'inclusion

Les études ont été incluses si elles impliquaient des patients humains ayant subi une chirurgie de repositionnement maxillaire et/ou mandibulaire avec des examens 3D permettant l'acquisition d'images des tissus durs et des tissus mous faciaux, réalisés en pré-chirurgie et à au moins 3 mois en post chirurgie.

Le critère de jugement principal est la mise en évidence d'un rapport de proportionnalité entre les mouvements des tissus mous et des tissus durs.

3.5.3.2.2. Critères d'exclusion

Les études concernant les patients avec fente, syndromes, traumatismes faciaux ont été exclues.

Les études ne s'appuyant pas sur les mouvements des tissus squelettiques pour mesurer les déplacements des tissus mous ont été exclues.

Les études s'appuyant sur des examens radiographiques 2D et les études comparant les résultats obtenus avec les résultats attendus selon un set up numérique n'ont également pas été retenues.

3.5.3.2.3. Collecte des données et analyse

L'extraction des données et l'évaluation de la méthodologie des études a été réalisée par un examinateur.

Les données suivantes ont été relevées :

- Date de publication
- Données concernant l'échantillon étudié (nombre de patients, sexe, âge)
- Données concernant le type d'intervention (maxillaire, mandibulaire, les deux)
- Données concernant l'imagerie (type d'examen, date de réalisation par rapport à la date d'intervention, orientation de la tête)
- Données concernant les mesures (méthode de superposition, moyens, références utilisées, ...)
- Résultats trouvés

La qualité des études incluses a été évaluée et un rang GRaDe leur a été attribué (recommandations de l'HAS avril 2013).

3.5.4. Résultats

3.5.4.1. Description des études

La première sélection à l'aide de l'équation de recherche a mis en évidence 126 articles. Parmi ceux-là, 22 ont été retenus sur leur titre et leur résumé. Enfin, après lecture des textes entiers, 11 études ont été incluses, 11 ont été exclues.

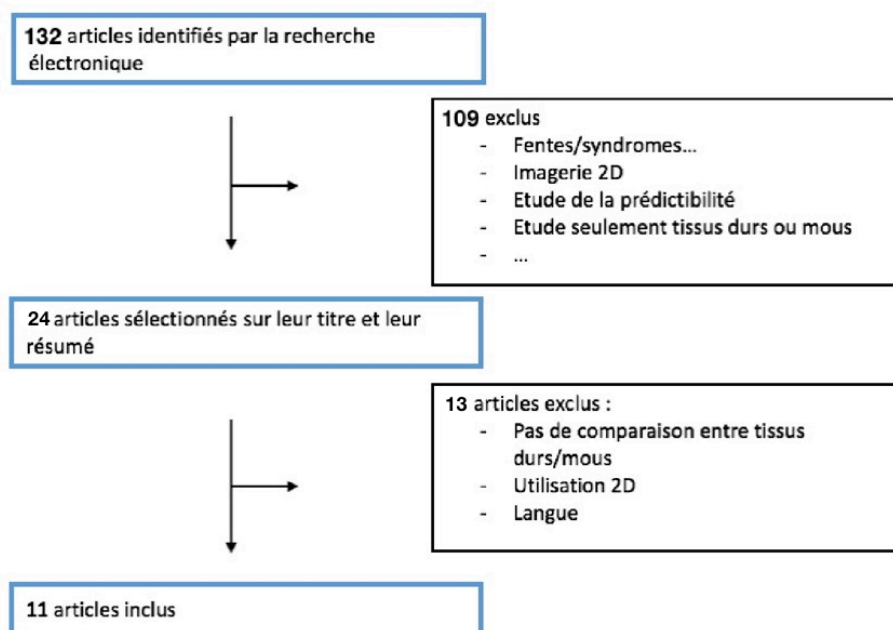


Figure 11 : Flow-chart

3.5.4.1.1. Etudes incluses

Article 1 : Tiwari et al. – 2018 (12)

Objectif : comparer les changements dans la largeur des lèvres, l'angle naso-labial et labio-mentonnier avant et après chirurgie en utilisant la tomodensitométrie.

Groupe étudié : 10 patients, de 18 à 26 ans

Type d'intervention : 7 interventions bi-maxillaires (4 reculs maxillaires et avancées mandibulaires, 2 avancées maxillaires et reculs mandibulaires, 1 recul bimaxillaire), 3 interventions seulement mandibulaires (1 recul et 2 avancées)

Type d'examen d'imagerie : CT une semaine pré-op et 1 an post op.

Orientation de la tête : non renseigné

Superposition : /

Types de mesures : deux mesures angulaires (angle nasolabial et labio-mentonnier), une mesure linéaire (largeur labiale)

Résultats :

Angle naso-labial (valeurs moyennes) :

- Avancée maxillaire : 1mm d'avancée → augmentation de 1,81°
- Recul maxillaire : 1 mm de recul → réduction de 2,73°

Angle labio-mentonnier :

- Avancée mandibulaire : sur 6 patients, 3 ont eu une augmentation moyenne de 7,6°, 3 ont eu une réduction moyenne de 3,6°
- Recul mandibulaire : 1 mm de recul → réduction de 3,27°

Largeur labiale : modification statistiquement significative seulement en cas de recul maxillaire et d'avancée mandibulaire réalisés conjointement (réduction de la largeur).

Article 2 : Paek et al. 2016 (35)

Objectif : évaluer la morphologie labiale et le changement au niveau commissural après une chirurgie de recul mandibulaire dans le cadre de classe III et analyser l'association entre la quantité de recul mandibulaire et le changement au niveau labial.

Groupe étudié : 14 patients de classe III par prognathisme mandibulaire de 18 à 29 ans

Type d'intervention : recul mandibulaire

Type d'examen d'imagerie : CBCT avant chirurgie et à 6 mois post-chirurgie

Superposition : /

Orientation de la tête :

- Plan horizontal : plan de francfort horizontal
- Plan coronaire : plan perpendiculaire au précédent passant par la suture fronto-zygomatique
- Plan sagittal : perpendiculaire aux 2 précédents passant par le point nasion

Types de mesures : 5 mesures linéaires et 7 mesures angulaires réalisées par un opérateur via un logiciel informatique.

Résultats :

- Les points de repère situés au niveau du chelion ont bougé en bas et en arrière
- Pas de changement statistiquement significatif au niveau de la largeur labiale
- L'angle de proéminence de la lèvre supérieure (1 sur schéma) est devenu plus aigu (diminution de 5°)

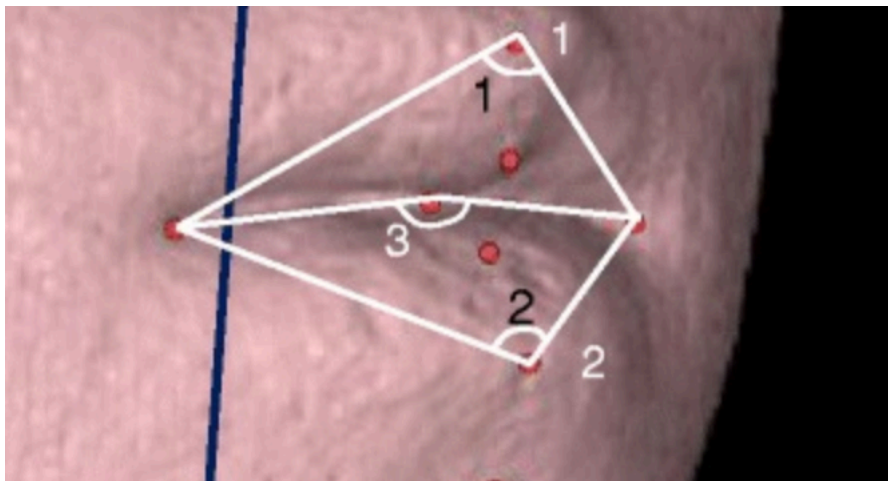


Figure 12 : mesures utilisées par Paek et al.

- Pas de changement de la hauteur de la lèvre supérieure.
- Augmentation de la longueur du vermillon de la lèvre supérieure (3,5mm)
- La surface labiale n'a pas changé significativement en vue frontale mais en vue latérale, la surface de lèvre supérieure a significativement augmenté (6,3 cm²).
- En vue latérale :
 - o le point proéminent de la lèvre supérieure a bougé vers le bas (1,24mm)
 - o le stomion a bougé en haut et en arrière (0,63mm et 1,79mm)

- L'angle LS-UP-STM (2 sur schéma) a diminué de 9,36°

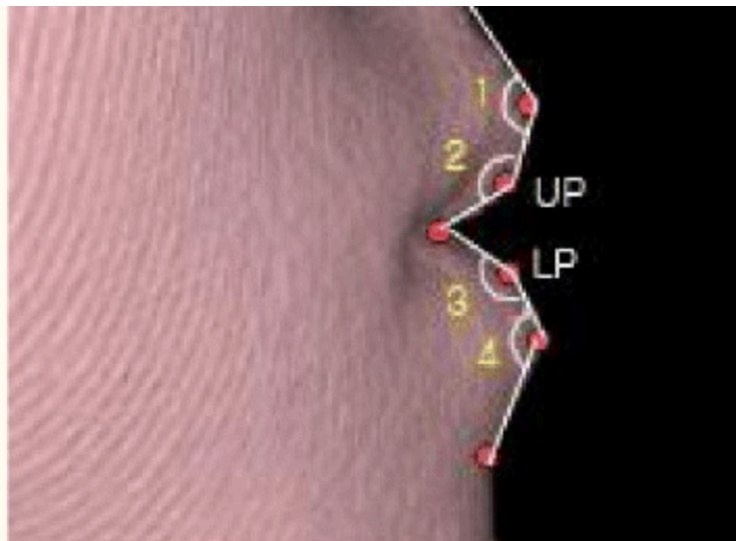


Figure 13 : mesures utilisées par Paek et al.

Article 3 : Almukhtar et al. 2018 (10)

Objectif : décrire les changements faciaux après correction chirurgicale d'avancée mandibulaire ou bimaxillaire en utilisant l'analyse de correspondance anatomique.

Groupe étudié : 24 patients âgés de 17 à 46 ans.

Type d'intervention : 12 avancées mandibulaires et 12 avancées bi-maxillaires

Type d'examen d'imagerie : CBCT pré-opératoire et 6 mois post chirurgie.

Superposition : superposition sur les voxels au niveau de la base du crâne.

Orientation de la tête : NR

Type de mesures : Analyse anatomique par correspondance dense. Direction de changement identifiée par une échelle colorimétrique dont l'intensité varie en fonction de la quantité de mouvement

Résultats :

Pour les patients ayant bénéficié d'une intervention bimaxillaire (avancée maxillaire moyenne de 5,5mm +/-2,7mm ; impaction antérieure de 2,7mm +/-2,5mm ; impaction postérieure de 2,3mm +/-1,4mm ; avancée mandibulaire de 4,6mm +/-3,2mm), on retrouve au niveau des tissus mous :

- Dans le sens transversal : changements minimes au niveau de la pointe nasale, de la partie centrale de la lèvre supérieure. Élargissement de la zone narinaire. Rétrécissement minimal des commissures labiales et de la lèvre inférieure.

- Dans le sens vertical : mouvement ascendant marqué du bout du nez, des courbures alaires et de la columelle ainsi que de la lèvre inférieure
- Dans le sens antéro-postérieur : mouvement vers l'avant de la columelle, des ailes du nez, de la zone paranasale, de la lèvre supérieure et des commissures buccales, de la lèvre inférieure et des joues.

Pour les patients ayant bénéficié d'une avancée mandibulaire (3,5mm +/-2,6mm) avec un mouvement d'ouverture du sens vertical (environ 2,2mm +/- 2,7mm), on retrouve au niveau des tissus mous :

- Dans le sens transversal : tendance au rétrécissement de la lèvre supérieure, tendance à une expansion latérale légère de la lèvre inférieure
- Dans le sens vertical : mouvement ascendant marqué du vermillon de la lèvre inférieure
- Dans le sens antéro-postérieur : mouvement vers l'avant de la lèvre inférieure

Article 4 : Chang et Al. 2017 (36)

Objectif : analyse quantitative des changements dans les 3 dimensions au niveau des tissus mous comparé à ceux des tissus durs chez les patients ayant bénéficié d'une chirurgie bimaxillaire.

Groupe étudié : 40 patients ayant bénéficié de chirurgies bi-maxillaires entre 2012 et 2014.

Type d'intervention : chirurgies de Lefort I et ostéotomie sagittale bilatérale mandibulaire.

Type d'examen d'imagerie : CT 3 semaines pré-chirurgie et 6 mois post-chirurgie.

Orientation de la tête : plan Francfort horizontal.

Superposition : superposition sur les voxels par rapport à la base crânienne

Type de mesures : 15 points de repère au niveau des tissus durs et leurs points correspondants au niveau des tissus mous ont été identifiés sur les 2 scans. La distance entre les points des 2 scans selon les 3 plans de l'espace ont pu être mesurées pour déterminer les changements des tissus mous en réponse à la chirurgie bimaxillaire.

Résultats : les mouvements des tissus mous suivent les mouvements des tissus durs avec une corrélation d'environ 0,9 sauf pour les points SNA/ bout du nez (0,54), A/sous nasal (0,58), incisive centrale supérieure/lèvre supérieure (0,67), incisive centrale inférieure/lèvre inférieure (0,76).

On trouve également une corrélation importante entre les mouvements des tissus mous dans le sens vertical et antéro-postérieur mais pas dans le sens transversal : les tissus mous ne suivent pas forcément les mouvements squelettiques dans le sens transversal.

Article 5 : Jung et Al. 2018 (37)

Objectif : évaluer et décrire les changements au niveau des tissus mous naso-labiaux dans les 3 dimensions après chirurgie mono ou bimaxillaire en utilisant la technique de lumière structurée et évaluer l'effet des sutures au niveau de la base des ailes nasaires.

Groupe étudié : 32 cas ayant bénéficié d'une chirurgie entre 2010 et 2016.

Type d'interventions : Chaque cas a bénéficié d'une BSSO seule ou accompagnée d'un LeFort I.

- Seulement BSSO : 9 cas
- LeFort I d'avancée : 13 cas
- LeFort I de recul : 10 cas

D'autre part, une suture de la base des ailes du nez a été réalisée dans chaque cas de chirurgie de LeFort I.

Type d'examen d'imagerie : Un CBCT et un scanner de surface utilisant un balayage à lumière blanche ont été réalisés en pré-opératoire et à 3 mois post-opératoires (reconstruction 3D à partir de 3 images prises selon différents plans).

Orientation de la tête :

- Plan horizontal : le plan tragus-sous nasal a été incliné de 7,5° vers le haut sur l'axe connectant les deux tragus et déplacé jusqu'au point correspondant au nasion des tissus mous
- Plan vertical : plan perpendiculaire au plan précédent passant par le point nasion des tissus mous
- Plan coronaire : plan perpendiculaire aux 2 précédents et passant par le point nasion des tissus mous.

Superposition : Superposition sur des points de référence

Types de mesures : 26 points de repères ont été positionnés sur les images 3D au niveau du contour labial, autour des lèvres et des narines.

Résultats :

Pour les chirurgies d'avancée maxillaire, l'avancée du point A était d'environ 2,4 mm +/- 1,4mm. On observe un élargissement des ailes du nez d'environ 4mm, un mouvement important en avant de presque tous les points de repère de la lèvre supérieure (de 14 à 31% par rapport au mouvement des tissus durs), un mouvement de la zone nasale (18 à 48% par rapport aux tissus durs).

Pour les chirurgies de recul maxillaire, le recul du point A était d'environ 2,1mm +/-1,0mm. On observe une diminution de la largeur des ailes du nez d'environ 4,7mm. Dans la région de la lèvre supérieure le mouvement des tissus mous était de 3 à 52% par rapport au mouvement osseux et de 63 à 84% dans la zone alaire.

Pour les chirurgies de recul mandibulaire, le recul du point B était d'environ 6,6mm +/- 2,8mm. Le ratio entre mouvement des tissus mous par rapport aux tissus durs était de 66 à 73% dans le sens antéro-postérieur.

Article 6 : Suzuki-Okamura et Al. 2015 (38)

Objectif : étudier les changements au niveau des tissus durs et mous plus particulièrement au niveau du menton et de l'inclinaison labiale après chirurgie bimaxillaire dans les cas d'asymétrie faciale.

Groupe étudié : 9 patients avec prognathisme mandibulaire et asymétrie faciale

Type d'intervention : LeFort I + BSSO sans génioplastie. Une suture de la base des ailes du nez a été réalisée chez 6 patients.

Type d'examen d'imagerie : CT pré-chirurgical et au moins 4 mois après chirurgie

Orientation de la tête :

- Plan horizontal : plan de francfort
- Plan vertical (ou coronaire) : plan perpendiculaire au précédent passant par les points sous orbitaires.
- Plan sagittal : plan perpendiculaire aux précédents passant par le point situé au milieu de la ligne sous orbitaire.

Superposition : superposition sur la base du crâne, le conduit auditif externe et l'arc zygomatique.

Types de mesures : mesures linéaires et angulaires à partir de points de repères au niveau des tissus mous et tissus durs.

Résultats : la correction de l'inclinaison maxillaire était corrélée avec l'amélioration de l'inclinaison du nez et des lèvres.

Article 7 : Almukhtar et Al. 2016 (33)

Objectif : appliquer l'analyse de surfaces correspondantes pour fournir une description complète des changements faciaux après ostéotomie de LeFort I.

Groupe étudié : 33 patients ayant bénéficié d'une ostéotomie de LeFort I d'avancée maxillaire

Type d'intervention : LeFort I d'avancée maxillaire avec ou sans impaction. Des sutures de la base des ailes du nez a été réalisée ainsi qu'une résection de l'épine nasale antérieure.

Type d'examen d'imagerie : CT à 1 mois pré-chirurgical et de 6 à 12 mois post-chirurgie.

Orientation de la tête : NR

Superposition : /

Type de mesure : analyse de surfaces denses correspondantes avec 2 types d'analyses : analyse des distances Euclidiennes et analyse des directions.

Résultats :

Au niveau osseux : Avancée maxillaire moyenne de 5,9mm (+/-1,7mm) avec une impaction antérieure de 0,10 (+/-1,70mm) et postérieure de 0,60 (+/-1,45mm), avec un déplacement latéral de 0,04 (+/- 0,90mm) et une autorotation mandibulaire en avant de 2,80 (+/-2,10mm) et en haut de 2,10 (+/-1,80mm)

Au niveau des tissus mous : élargissement des narines, mouvement de la columelle et de la partie inférieure de la pointe nasale vers l'intérieur le haut ou les deux, la zone autour de la lèvre supérieure se déplace vers l'avant, la majeure partie de la zone autour de la lèvre inférieure présente un léger déplacement vers l'avant.

Article 8 : Van Loon et Al. 2015 (39)

Objectif : évaluer les changements en 3D suite à une chirurgie orthognathique de la région nasale et de la lèvre supérieure

Groupe étudié : 36 patients ayant subi une intervention chirurgicale de LeFort I associée ou non à BSSO entre 2006 et 2010

Type d'intervention :

- 12 LeFort I
- 24 LeFort I associées à BSSO

Dans tous les cas, aucune suture de la base nasale n'a été réalisée

Type d'examen d'imagerie : CBCT pour les tissus osseux, Stéréophotogrammétrie pour reconstruction des tissus mous acquis en pré-opératoire et à un an post-opératoire.

Orientation de la tête :

- Plan horizontal : plan situé à 6,6° au-dessous du plan de camper, représentant l'horizontale en position naturelle de la tête et passant à 77,2mm en arrière du point inter-pupillaire
- Plan médian : plan perpendiculaire au plan horizontal et vertical passant par le point inter-pupillaire

Superposition :

- Superposition des images CBCT par superposition sur les voxels de la base du crâne et de l'arc zygomatique.
- Superposition des tissus mous par fusion des surfaces

Mesures : points de repères et volume de zones du visage

Résultats :

La translation ou la rotation du maxillaire n'ont pas entraîné d'augmentation significative du volume du nez mais ont influencé le volume labial.

L'impaction maxillaire a induit une augmentation de la largeur des ailes du nez.

La rotation du maxillaire n'a montré aucune corrélation avec des changements au niveau nasal.

Article 9 : Lo et Al. 2018 (40)

Objectif : étudier le rapport entre le changement des tissus mous du visage avec le mouvement squelettique chez les patients atteints de prognathisme.

Groupe étudié : 24 patients en classe III squelettique par prognathisme mandibulaire et ayant bénéficié d'une intervention bimaxillaire.

Type d'intervention : LeFort I d'avancée (1 à 3mm) et impaction postérieure maxillaire (2 à 5mm) + BSSO de recul mandibulaire (3 à 12mm).

Une génioplastie complémentaire a été réalisée chez 13 patients avec un mouvement d'avancée de 1 à 8mm.

Type d'examen d'imagerie : CBCT réalisé 1 mois pré-opératoire et au minimum à 9 mois en post-opératoire.

Orientation de la tête :

- Plan vertical : les repères exocanthion (ex) et cheilion (ch) ont formé les bordures parallèles au plan vertical référentiel.
- Plan horizontal : plan parallèle aux lignes passant par les points de la partie supérieure (sac) et inférieures (ac) des ailes du nez, passant par les points cheilions et perpendiculaire au plan vertical.

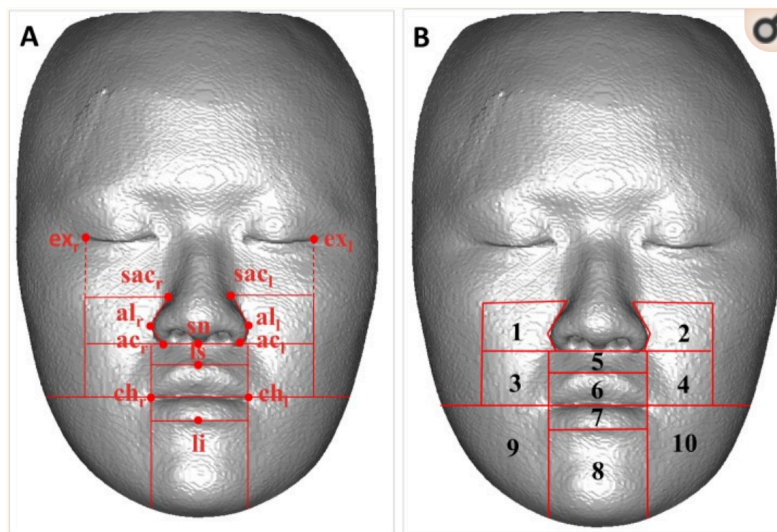


Figure 14 : mesures utilisées par Lo et al.

Superposition : superposition sur les surfaces de la base du crane

Mesures : 10 régions ont été définies sur la base de repères anatomiques spécifiques pour identifier les changements dans chaque région.

Résultats :

Les diagrammes de dispersion ont montré une corrélation très importante entre les mouvements des tissus durs et des tissus mous dans les régions de la lèvre supérieure ($r=0,92$), du vermillon supérieur ($r=0,89$), du vermillon inférieur ($r= 0,80$) et du menton ($r = 0,93$). Cependant, ils ont montré une corrélation faible ou inexistante au niveau des régions paranasales.

D'autre part ils ont montré que les tissus mous des régions centrales suivent plus étroitement les mouvements des tissus durs sous-jacents que les tissus mous des régions latérales et que ces rapports augmentaient également des régions supérieures vers les régions inférieures.

Article 10 : Kim et Al. 2019 (41)

Objectif : Evaluer les changements et la corrélation entre les mouvements des tissus durs et mous après chirurgie de recul mandibulaire chez des patients de classe III à l'aide du CBCT et d'un scanner à base de lumière structurée.

Groupe étudié : 28 patients en classe III squelettique par prognathie mandibulaire

Type d'intervention : chirurgie de recul mandibulaire BSSO

Type d'examen d'imagerie : CBCT une semaine en pré-chirurgical et à 6 mois post-chirurgical + scanner de surface à lumière pulsée

Orientation de la tête :

- Plan transversal : parallèle à la suture fronto-zygomatique
- Plan antéro-postérieur : perpendiculaire au précédent et parallèle au plan de francfort droit
- Plan vertical : perpendiculaire aux deux précédents

Le point d'origine a été placé au point Nasion.

Superposition : le scanner de surface a été superposé sur l'image de la peau du CBCT.

Mesures :

- Positionnement de 9 points de repères squelettiques et 18 au niveau des tissus mous ayant chacun des coordonnées en 3 dimensions évalués avant et après chirurgie
- 7 mesures linéaires au niveau des tissus mous

Résultats :

Au niveau squelettique :

- Recul mandibulaire de 5,80mm au point B et de 5,69 au point Pog
- Correction transversale de 2,41mm au point B et 2,49 au point Pog
- Réduction du sens vertical de 0,99 au point B et 1,32 au point Pog

Au niveau des tissus mous :

- Dans le sens antéro-postérieur : mouvements de recul significatifs au niveau des lèvres et du menton mais pas au niveau du nez et des joues

- Dans le sens transversal : changements significatifs au niveau des lèvres et du menton mais pas des joues et du nez
- Dans le sens vertical : mouvements significatifs au niveau du menton mais pas du nez des lèvres et des joues.

Ratios entre tissus durs et tissus mous :

- Dans le sens antéro-postérieur point central du vermillon inf/incisive inf (Li/li)= 0,85, Pog'/pog = 0,77, B'/B = 0,73
- Dans le sens transversal : faible corrélation au niveau Li/li = 0,38 qui augmente jusqu'à Me'/Me = 0,74
- Dans le sens vertical : tous les ratios étaient supérieurs à 0,9

Aucune différence significative n'a été montrée au niveau des largeurs nasale ou labiale.

Article 11 : Abedini et Al. (2018) (42)

Objectif : analyser et quantifier les changements au niveau des tissus mous induits par les disjoncteurs maxillaires à appui osseux.

Groupe étudié : 25 patients ayant terminé leur croissance avec un déficit transversal maxillaire

Type d'intervention : disjonction maxillaire avec appui osseux.

Type d'examen d'imagerie :

- Enregistrement des tissus mous avec 3dMD face system (combinaison de stéréophotogrammétrie et technique de la lumière structurée) en position naturelle de la tête
- Enregistrement des tissus durs avec CBCT

Orientation de la tête : NR

Superposition : superposition sur les surfaces des tissus mous (ICP non rigide)

Mesures : analyse par correspondance dense

Résultats : les zones subissant le plus de changements sont les zones paranasales et les joues. L'amplitude moyenne de mouvement était de 2,4mm au niveau de la joue droite et 2,9mm au niveau de la gauche en avant (principalement) et de façon latérale. Elle était de 1,3 dans la zone paranasale et de la lèvre supérieure.

3.5.4.1.2. Etudes exclues

Treize articles ont été exclus.

Les articles de *Kim et al. 2013 (43)*, *Verdenik et Ihan Hren. 2014 (44)*, *Peng et al. 2015 (45)*, *Day et Robert. 2006 (46)* et *Alves et Al. 2009 (47)* l'ont été car ils ne comparent pas les mouvements des tissus mous par rapport à ceux des tissus durs.

Ceux de *Kim et Al. 2016 (11)*, *Baik et Kim. 2010 (7)*, *Oh et al. 2013 (48)*, *Park et Al. 2012 (49)*, *Lim et Al. 2010 (50)*, *Coban et al. 2020 (51)* l'ont été car l'analyse des mouvements des tissus durs se base sur des examens 2D.

L'article de *Wermker et al. 2014 (52)* a été exclu car il utilise des repères dentaires sur des moulages pour évaluer les mouvements des tissus durs et non des repères osseux.

L'article de *Wu et Al. 2019 (53)* a été exclu car il n'était disponible qu'en chinois.

Référence	Diagnostic	Nbre.	Intervention	Suivi	Imagerie	Superposition	Méthode de mesure
<u>Tiwgici et al. 2018</u>	/	10	7 bimaxillaires 3 chirurgies mandibulaires	1 an	CT	/	Mesures angulaires et linéaires
<u>Paek et al. 2016</u>	Cl III par prognathisme mandibulaire	14	Recul mandibulaire	6 mois	CBCT	/	Mesures linéaires et angulaires
<u>Almukhtar et al. 2018</u>	/	24	12 avancées mandibulaires 12 avancées bimaxillaires	6 mois	CBCT	Sur les voxels de la base du crâne	Echelle colorimétrique
<u>Chang et al 2017</u>	/	40	Chirurgies bimaxillaires	6 mois	CT	Sur les voxels de la base du crâne	Mesures linéaires + rapport
<u>Jung et al. 2018</u>	/	32	9 chirurgies mandibulaires 13 avancées maxillaires 10 reculs maxillaires	3 mois	CBCT + scanner de surface	Sur des points	Mesures linéaires + rapport
<u>Suzuki-Okamura et al. 2015</u>	Classe III par prognathie mandibulaire + asymétrie faciale	9	Chirurgies bimaxillaires	4 mois	CT	Sur la base du crâne, le CAE et l'arc zygomatique	Mesures linéaires et angulaires
<u>Almukhtar et al. 2016</u>	/	33	Avancée maxillaire avec ou sans impaction	6-12 mois	CT	/	Echelle colorimétrique
<u>Van Loon et al. 2015</u>	/	36	12 chirurgies maxillaires 24 bimaxillaires	1 an	CBCT + scanner de surface	Tissus durs : voxels de la base du crâne et zygomatique Tissus mous : fusion des surfaces	Mesures linéaires + mesure volumique
<u>Lo et al. 2018</u>	Classe III par prognathie md	24	Bimax avec avancée et impaction maxillaire et recul mandibulaire	9 mois	CBCT	Sur les surfaces de la base du crâne	Mesure volumique de régions Ratios
<u>Kim et al. 2019</u>	Classe III par prognathie md	28	Recul mandibulaire	6 mois	CBCT + scanner de surface	Sur les surfaces	Mesures linéaires
<u>Abedjaj et al. 2018</u>	Endognathie maxillaire	25	Disjonction à appui osseux	1 an	CBCT + scanner de surface	Sur les surfaces	Echelle colorimétrique

Tableau 3 : caractéristiques des articles inclus

3.5.4.2. Qualité des études incluses

Toutes les études incluses dans cette revue de la littérature sont des études rétrospectives donc de grade C selon les recommandations de la HAS d'avril 2013 et sont donc des études à faible niveau de preuve scientifique.

3.5.4.3. Résultats mis en évidence

Les 11 articles inclus ont été rédigés entre 2015 et 2019. Ils s'appuient tous sur des techniques d'imagerie 3D pour mesurer la réponse des tissus mous faciaux après chirurgie orthognathique. Le suivi des patients varie de 3 mois à 1 an. Plusieurs types de mesures différentes aussi bien au niveau méthodologique qu'au niveau de la zone concernée ont été réalisées par les différents auteurs. Les résultats relevés sont résumés dans les tableaux suivants.

Référence	Résultats
<u>Tiwari et al. 2018</u>	<p>Angle naso-labial :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 mm avancée maxillaire : 1mm → augmentation de 1,81° - 1 mm de recul → réduction de 2,73° <p>Largueur labiale : modification en cas de recul maxillaire et d'avancée mandibulaire réalisés conjointement</p>
<u>Paek et al. 2016</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Les points de repère situés au niveau du chelion ont bougé en bas et en arrière - Pas de changement de la largeur labiale et de la hauteur de la lèvre sup. - L'angle de proéminence de la lèvre supérieure est devenu plus aigu (diminution de 5°) - Augmentation de la longueur du vermillon de la lèvre supérieure (3,5mm) - En vue latérale : <ul style="list-style-type: none"> ○ le point proéminent de la lèvre supérieure a bougé vers le bas (1,24mm) ○ le stomion a bougé en haut et en arrière (0,63mm et 1,79mm) ○ L'angle LS-UP-STM (2 sur schéma) a diminué de 9,36° ○ Surface de la lèvre sup a augmenté (6,3cm²)
<u>Almukhtar et al. 2018</u>	<p>Pour chirurgie d'avancée bimaxillaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sens transversal : Elargissement de la zone narinaire. Rétrécissement minimal des commissures labiales et de lèvre inférieure. - Sens vertical : mouvement ascendant marqué du bout du nez, des courbures alaires, de la columelle, de la lèvre inférieure - Sens antéro-postérieur : mouvement vers l'avant de la columelle, ailes du nez, zone paranasale, lèvre supérieure et commissures buccales, lèvre inférieure et joues. <p>Pour avancée mandibulaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sens transversal : tendance au rétrécissement de la lèvre supérieure, et à une expansion latérale légère de la lèvre inférieure - Sens vertical : mouvement ascendant marqué du vermillon de la lèvre inférieure - Sens antéro-postérieur : mouvement vers l'avant de la lèvre inférieure
<u>Chang et al. 2017</u>	<p>Coef de corrélation : environ 0,9 sauf pour les points :</p> <ul style="list-style-type: none"> - SNA/ bout du nez (0,54) - A/sous nasal (0,58) - Incisive centrale supérieure/lèvre supérieure (0,67) - Incisive centrale inférieure/lèvre inférieure (0,76).
<u>Jung et al. 2018</u>	<p>Chirurgies d'avancée maxillaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Avancée du point A d'environ 2,4 mm +/- 1,4mm. - Élargissement des ailes du nez d'environ 4mm - Mouvement en avant des points de repère de la lèvre supérieure (de 14 à 31% par rapport au mouvement des tissus durs) - Mouvement de la zone nasale (18 à 48% par rapport aux tissus durs). <p>Chirurgies de recul maxillaire</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recul du point A était d'environ 2,1mm +/-1,0mm. - Diminution de la largeur des ailes du nez d'environ 4,7mm. Mouvement de 3 à 52% dans la région de la lèvre supérieure des tissus mous/tissus durs - 63 à 84% dans la zone alaire.

<u>Suzuki-Okamura et al. 2015</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Corrélation entre correction de l'inclinaison maxillaire et inclinaison du nez et des lèvres
<u>Almukhtar et al. 2016</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Élargissement des narines - Mouvement de la columelle et partie inférieure de la pointe nasale vers l'intérieur le haut ou les deux - La zone autour de la lèvre supérieure se déplace vers l'avant - Léger déplacement vers l'avant de la zone autour de la lèvre inférieure
<u>Van Loon et al. 2015</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Translation/rotation du maxillaire : pas de modification du volume du nez mais modification du volume labial - Impaction maxillaire : augmentation de la largeur des ailes du nez - Rotation du maxillaire : pas de changements au niveau nasal.
<u>Lo et al. 2018</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Corrélation très importante entre les mouvements des tissus durs et des tissus mous dans les régions : lèvre supérieure, vermillon supérieur, vermillon inférieur, menton - Corrélation faible ou inexistante au niveau des régions paranasales.
<u>Kim et al. 2019</u>	<p>Recul mandibulaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sens AP : Recul des lèvres et du menton mais pas du nez et des joues - Sens transversal : changements des lèvres et du menton mais pas des joues et du nez - Sens vertical : Changement menton mais pas nez, lèvres et joues.
<u>Abedini et al. 2018</u>	<p>Disjonction :</p> <p>Mouvements latéraux et en avant les zones paranasales (1,3mm) et les joues (2,4 à 2,9mm).</p>

Tableau 4 : Résultats des articles inclus

Intervention		Auteurs	Résultats
Maxillaire	Avancée seule	<i>Almukhtar et Al. 2016</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Élargissement des narines - Mouvement de la columelle et partie inférieure de la pointe nasale vers l'intérieur le haut ou les deux - Mouvement vers l'avant de la zone autour de la lèvre supérieure - Léger déplacement vers l'avant de la majeure partie de la zone autour de la lèvre inférieure
	Recul	/	/
	Expansion	<i>Abedini et Al. (2018)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Les zones subissant le plus de changements sont les zones paranasales et les joues. - L'amplitude moyenne de mouvement : 2,4mm au niveau de la joue droite et 2,9mm au niveau de la gauche en avant et de façon latérale. - Amplitude de mouvement de 1,3 dans la zone paranasale et de la lèvre supérieure.

Tableau 5 : Synthèse des résultats concernant les interventions maxillaires

Intervention		Auteurs	Résultats
Mandibulaire	Avancée	<i>Almukhtar et al. 2018</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Sens transversal : tendance au rétrécissement de la lèvre supérieure, tendance à une expansion latérale légère de la lèvre inférieure - Sens vertical : mouvement ascendant marqué du vermillon de la lèvre inférieure - Sens antéro-postérieur : mouvement vers l'avant de la lèvre inférieure
	Recul	<i>Paek et al. 2016</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Les points de repère situés au niveau du chelion ont bougé en bas et en arrière - Pas de changement de la largeur labiale et de la hauteur de la lèvre sup. - L'angle de proéminence de la lèvre supérieure est devenu plus aigu (diminution de 5°) - Augmentation de la longueur du vermillon de la lèvre supérieure (3,5mm) - En vue latérale : <ul style="list-style-type: none"> o Le point proéminent de la lèvre supérieure a bougé vers le bas (1,24mm) o Le stomion a bougé en haut et en arrière (0,63mm et 1,79mm) o L'angle LS-UP-STM (2 sur schéma) a diminué de 9,36° o Surface de la lèvre sup a augmenté (6,3cm²)
		<i>Jung et Al. 2018</i>	Pour un recul du point B d'environ 6,6mm +/- 2,8mm : le ratio entre mouvement des tissus mous par rapport aux tissus durs est de 66 à 73% dans le sens antéro-postérieur.
		<i>Kim et Al. 2019</i>	Mouvements des tissus mous : <ul style="list-style-type: none"> - Sens antéro-postérieur : mouvements de recul significatifs au niveau des lèvres et du menton mais pas au niveau du nez et des joues - Sens transversal : changements significatifs au niveau des lèvres et du menton mais pas des joues et du nez - Sens vertical : mouvements significatifs au niveau du menton mais pas du nez des lèvres et des joues. Ratios entre tissus durs et tissus mous : <ul style="list-style-type: none"> - Dans le sens antéro-postérieur point central du vermillon inf/incisive inf (Li/li) = 0,85, Pog'/pog = 0,77, B'/B = 0,73 - Dans le sens transversal : faible corrélation au niveau Li/li = 0,38 qui augmente jusqu'à Me'/Me = 0,74 - Dans le sens vertical : tous les ratios étaient supérieurs à 0,9 Aucune différence significative n'a été montrée au niveau de la largeur du nez ou labiale.

Tableau 6 : Synthèse des résultats concernant les interventions mandibulaires

Intervention		Auteurs	Résultats
Bimaxillaire	Avancée bimaxillaire	<i>Almukhtar et al. 2018</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Sens transversal : changements minimes au niveau de la pointe nasale, de la partie centrale de la lèvre supérieure. Elargissement de la zone narinaire. Rétrécissement minimal des commissures labiales et de lèvre inférieure. - Sens vertical : mouvement ascendant marqué du bout du nez, des courbures alaires et de la columelle ainsi que de la lèvre inférieure - Sens antéro-postérieur : mouvement vers l'avant de la columelle, des ailes du nez, de la zone paranasale, de la lèvre supérieure, des commissures buccales, de la lèvre inférieure et des joues.
	Avancée maxillaire + recul mandibulaire	<i>Lo et Al. 2018</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Corrélation très importante entre les mouvements des tissus durs et des tissus mous dans les régions de la lèvre supérieure (r=0,92), du vermillon supérieur (r=0,89), du vermillon inférieur (r= 0,80) et du menton (r = 0,93). - Corrélation faible ou inexistante au niveau des régions paranasales. - Les tissus mous des régions centrales suivent plus étroitement les mouvements des tissus durs sous-jacents que les tissus mous des régions latérales. - Les rapports de corrélation augmentent des régions supérieures vers les régions inférieures.
	Avancée maxillaire + avancée/recul mandibulaire	<i>Jung et Al. 2018</i>	Pour une avancée du point A d'environ 2,4 mm +/- 1,4mm, on observe : <ul style="list-style-type: none"> - Élargissement des ailes du nez d'environ 4mm - Un mouvement important en avant de presque tous les points de repère de la lèvre supérieure (de 14 à 31% par rapport au mouvement des tissus durs) - Un mouvement de la zone nasale (18 à 48% par rapport aux tissus durs).
	Recul maxillaire + avancée/recul mandibulaire	<i>Jung et Al. 2018</i>	Pour un recul du point A d'environ 2,1mm +/-1,0mm, on observe <ul style="list-style-type: none"> - Diminution de la largeur des ailes du nez d'environ 4,7mm. - Dans la région de la lèvre supérieure : mouvement des tissus mous de 3 à 52% par rapport au mouvement osseux et de 63 à 84% dans la zone alaire.
	NR	<i>Chang et Al. 2017</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Corrélation importante des mouvements des tissus mous et durs d'environ 0,9 sauf pour les points SNA/ bout du nez (0,54), A/sous nasal (0,58), incisive centrale supérieure/lèvre supérieure (0,67), incisive centrale inférieure/lèvre inférieure (0,76). - Corrélation importante entre les mouvements des tissus mous dans le sens vertical et antéro-postérieur mais pas dans le sens transversal

Tableau 7 : Synthèse des résultats concernant les interventions bimaxillaires

3.5.5. Discussion

Nous pouvons tirer plusieurs observations de cette revue.

Concernant le mouvement d'avancée maxillaire, pour Almuktar dans les articles de 2016 et 2018, on retrouve un mouvement ascendant de la pointe du nez et de la columelle et vers l'avant de la columelle, du nez, et de la zone paranasale. Ils s'accordent avec Jung et al sur le fait que l'on retrouve également un élargissement des ailes du nez.

On retrouve également un mouvement vers l'avant de la lèvre sup, des commissures buccales, de la lèvre inférieure et des joues chez Almuktar et al. Ce mouvement en avant de la lèvre supérieure est noté aussi chez Jung 2018. Toutefois, on retrouve des résultats hétérogènes concernant les ratios de mouvements des tissus mous comparés à ceux des tissus durs : corrélation importante avoisinant un ratio de 0,9 dans les régions de la lèvre supérieure pour Lo et Al contre un rapport de 0,14 à 0,31 pour Jung et Al ou encore de 0,67 pour Chang et Al. De plus ces ratios diffèrent selon la direction du mouvement du tissu squelettique : pour Jung et al au niveau de la lèvre supérieure le ratio varie de 0,03 à 0,52 dans le cadre d'un recul maxillaire contre 0,14 à 0,31 dans le cadre d'une avancée ; au niveau de la zone nasale il varie de 0,18 à 0,48 dans le cadre d'une avancée et de 0,63 à 0,84 pour un recul.

Enfin, pour Lo et Al et Chang et Al, les rapports de corrélation augmentent des régions supérieures vers les régions inférieures.

Nous nous rendons compte de la grande hétérogénéité des résultats qui ressortent de ces articles, ne nous permettant pas de tirer de conclusions concernant les rapports entre tissus durs et tissus mous. Nous pouvons déduire des tendances, des directions de mouvements mais pas de rapports de proportionnalité.

L'hétérogénéité des résultats obtenus peut s'expliquer par les différences méthodologiques de ces articles.

Premièrement, nous avons vu que tous les articles inclus dans cette étude sont des études rétrospectives donc à faible niveau de preuve scientifique.

La taille des échantillons est très variable, parfois très faible avec par exemple chez Tiwari et Al des conclusions apportées se basant sur un échantillon de seulement 2 individus ayant bénéficié d'une chirurgie d'avancée maxillaire et de recul mandibulaire.

Ensuite, certains auteurs ne différencient pas les résultats observés selon le type de chirurgie qui a été réalisé. Par exemple, Tiwari ne dit pas si les résultats obtenus au niveau de l'angle labio-mentonnier sont obtenus lors d'un recul seul de la mandibule ou d'une intervention bimaxillaire. Or nous savons que celui-ci peut être impacté par le soutien de la lèvre inférieure par l'incisive maxillaire.(12) Jung décrit les mouvements obtenus pour une avancée et un recul maxillaire mais ne différencie pas si le mouvement mandibulaire associé est une avancée ou un recul. (37) Il est nécessaire d'étudier les mouvements indépendamment les uns des autres et de les quantifier.

Les protocoles chirurgicaux ne sont pas les mêmes selon les différents auteurs. En effet, on trouve des variations au niveau des types d'ostéotomies, certains auteurs rapportent la réalisation de sutures de la base des ailes du nez, d'autres non, d'autres ne le précisent pas ; certains réalisent des génioplasties en complément chez certains patients. Chacun de ces paramètres influant le résultat au niveau des tissus mous devrait être étudié indépendamment par rapport à un groupe contrôle. La grande diversité des protocoles entre les auteurs et parfois même au sein de la même étude empêche donc de regrouper les informations entre les différents articles et de tirer des conclusions.

D'autre part, il existe une grande hétérogénéité au niveau des éléments mis en évidence par les auteurs tant sur leur méthode de mesure (échelle colorimétrique, mesures linéaires et angulaires différentes, mesures volumiques, ratios), la zone étudiée (lèvres, zone paranasale, nasale...).

La période de suivi des patients diffère également selon les auteurs pouvant aller de 3 mois à 1 an. Or de 3 mois à 6 mois en post-chirurgie, le remodelage au niveau des tissus mous et la récurrence sont encore possibles et l'œdème post-opératoire n'est pas totalement résorbé.

Nous ne savons pas pour chaque article si les enregistrements radiologiques ont été faits avec ou sans appareil orthodontique avant et après chirurgie, ceux-ci -lorsqu'ils sont placés en vestibulaire- ayant inévitablement un impact sur la position des tissus labiaux.

D'autres revues de la littérature ont déjà été réalisées sur des sujets apparentés.

Déjà en 2010, Joss (54) qui faisait une revue de la littérature sur les changements des tissus mous après chirurgie de recul mandibulaire, rapportait qu'il était difficile de tirer des conclusions sur la modification des tissus mous compte tenu des problèmes inhérents aux études rétrospectives, au manque de méthodologie, de standardisation des protocoles et des mesures. Il mentionnait la nécessité d'étudier les mouvements indépendamment les uns des autres, sans réaliser de chirurgies complémentaires.

Khamashta-Ledezma (55) en 2014 a fait une revue de la littérature sur les changements sur l'exposition des incisives et le positionnement de la lèvre supérieure suite à des ostéotomies de Lefort I avec ou sans sutures des ailes nasaires et/ou des sutures V-Y. Il déduisait que les tissus mous du point Pronasale jusqu'au point Labiale supérieur suivaient de plus en plus étroitement le mouvement horizontal sous-jacent des tissus durs et que les sutures des ailes du nez et V-Y avaient tendance à augmenter ces ratios. Cependant son analyse se basait uniquement sur des téléradiographies de profil, donc sur des examens 2D.

Olate (56)(57) en 2016 et 2017 avait conclu que les variations au niveau méthodologique et au niveau des résultats mesurés ne permettaient pas de déduire des ratios précis quant aux mouvements des tissus mous par rapport à celui des tissus durs. Il déduisait que les ratios observés pour les mouvements dans le sens antéro-postérieur au niveau de la mandibule sont plus stables que les autres ratios (90 à 100%), plus particulièrement que ceux de l'étage moyen du visage. Il mentionnait également qu'il existait peu d'informations rapportant l'impact des mouvements des tissus durs sur ceux des tissus mous s'appuyant sur une analyse 3D.

Enfin, en 2019, Paredes de Sousa Gil (58) a réalisé une revue de la littérature sur les changements des tissus mous naso-labiaux après ostéotomie de LeFort I. Il a relevé que les changements les plus rapportés étaient des mouvements antérieurs et latéraux des tissus para nasaux et de la lèvre supérieure et un mouvement antérieur et vers le haut de la pointe du nez, éléments que l'on retrouve également dans notre revue. D'autre part, il relève que la suture des ailes du nez et la fermeture V-Y semblent avoir peu d'effet pour contrer les changements naso-labiaux indésirables en post-opératoire.

II. Proposition d'établissement d'un protocole d'évaluation de l'impact des chirurgies orthognathiques sur les tissus mous de la face

De ces différentes observations, nous déduisons que les études actuelles présentent une faible méthodologie et qu'il n'existe pas de protocole standard qui prenne en compte les relations entre les mouvements des tissus mous par rapport à ceux des tissus durs utilisant l'analyse 3D.(56) Nous proposerons, au cours de ce travail, un protocole d'évaluation des mouvements des tissus mous comparé à celui des tissus durs, ceci afin de déterminer s'il existe des rapports de proportionnalité entre ces mouvements et ainsi permettre à terme de meilleures prédictions du résultat final.

1. Population

Il sera nécessaire de bien définir le protocole chirurgical à réaliser et d'analyser les mouvements indépendamment les uns des autres.

L'échantillon devra être suffisamment important pour chaque type de chirurgie afin d'obtenir des résultats exploitables.

Ex : étudier dans un premier temps les chirurgies d'avancée ou de recul maxillaire, sans intervention sur le sens vertical ou transversal (ou déplacement minime). Il sera nécessaire de déterminer si des gestes chirurgicaux particuliers sont réalisés ou non (ex : sutures des ailes du nez, ...) et que ces gestes soient les mêmes pour tous les patients inclus dans le groupe étudié.

2. Enregistrement de l'image

Pour pouvoir mener à bien cette étude, il sera nécessaire de pouvoir obtenir un enregistrement exhaustif et précis à la fois des tissus durs et des tissus mous et de les superposer.

Compte tenu des informations relevées dans cet exposé, il semble préférable d'utiliser le CBCT pour l'enregistrement des tissus durs du fait de sa haute qualité d'image concernant les tissus minéralisés associée à une irradiation faible comparée à celle délivrée par un MSCT. Il faudra respecter les principes de radioprotection et régler l'appareil de telle sorte que l'irradiation soit la plus faible possible tout en gardant une qualité d'image suffisante.

Il nous faudra un enregistrement grand champ afin d'avoir une visualisation des étages moyen et inférieur du visage.

Nous avons par contre pu voir que le CBCT délivre des images de qualité insuffisante concernant les tissus mous. Il sera donc nécessaire d'y adjoindre un enregistrement surfacique non irradiant.

L'appareil Planmeca ProMax 3D Proface est un appareil d'imagerie associant le CBCT et une photo 3D du visage. Il permet d'avoir un enregistrement des tissus durs et des tissus mous en un seul temps permettant ainsi de nous affranchir de plusieurs biais : superposition, positionnement du patient, expression du visage et positionnement musculaire qui peuvent varier lorsque deux acquisitions sont nécessaires. Cela permet également un gain de temps important.



Figure 15 : Exemple de superposition entre un CBCT et une image surfacique acquises par l'appareil Planmeca ProMax 3D Proface – Courtoisie du Dr Laurentjoye

D'autre part, il sera nécessaire que les enregistrements radiographiques soient réalisés dans les mêmes conditions en pré- et post-opératoire et soient les mêmes pour tous les patients inclus dans l'étude, ceci afin d'avoir des résultats comparables :

- Même appareil de radiographie
- Mêmes réglages de l'appareil
- Même opérateur
- Même position du patient
- Mêmes conditions chez le patient en pré et post-opératoire (ex : appareillage orthodontique vestibulaire en place pour les examens pré- et post-opératoire afin que l'effet observé au niveau des tissus mous ne soit pas impacté par la présence ou non des brackets).

Afin d'avoir des résultats fiables, il semble préférable que les enregistrements radiologiques soient réalisés le plus proche possible de la date d'intervention en pré-opératoire et à au moins 6 mois en post-opératoire afin d'avoir une récupération suffisante au niveau musculaire et une disparition de l'œdème post-opératoire.

3. Méthode de superposition

Par l'utilisation de l'appareil Planmeca ProMax, il n'y aura pas de superposition à réaliser entre tissus durs/tissus mous, ceux-ci étant déjà appariés lors de l'enregistrement.

Il sera par contre nécessaire de réaliser une superposition entre les images pré et post-opératoires afin d'estimer les mouvements des tissus mous en réponse à ceux des tissus durs. Concernant la méthode de superposition, nous avons pu voir que la méthode la plus fiable et la plus utilisée est l'appariement sur les voxels de la base du crâne. Il sera donc nécessaire de superposer les voxels de la base du crane en pré- et post-opératoire, ceux-ci n'étant pas impactés par la chirurgie, permettant l'obtention d'une superposition aussi bien des tissus durs que des tissus mous. Cela permet de s'affranchir des biais de superposition des tissus mous entre eux et permettra une évaluation plus fiable des mouvements induits.

Il sera nécessaire d'évaluer la reproductibilité intra- et inter-examineur de cette opération.

4. Méthode d'analyse

4.1. Orientation de l'image

Il faudra dans un premier temps orienter les images enregistrées. Pour que les données des différents patients inclus dans l'étude soient comparables, il nous faudra utiliser un référentiel de coordonnées commun.

Bien que la position naturelle de la tête soit un meilleur référentiel à utiliser pour l'évaluation d'un cas isolé, elle n'est pas utilisable pour comparer plusieurs cas étant donné que celle-ci diffère pour chaque patient. Le positionnement des images de la tête des patients sera réalisé selon les critères suivants :

- Plan de Francfort horizontal défini par le point au milieu de la ligne reliant les porions droit et gauche et les points sous orbitaires droit et gauche, comme défini dans l'article de Lin et al, évaluant la validité et la reproductibilité des plans de référence horizontaux. (59)
- Plan sagittal : plan perpendiculaire au précédent passant par le point situé au milieu de la ligne sous orbitaire.
- Plan vertical (ou coronaire) : plan perpendiculaire aux précédents passant par les points sous orbitaires.

4.2. Méthode de mesure

Concernant l'évaluation des mouvements des tissus durs et mous, il serait nécessaire de réaliser une analyse linéaire et angulaire par l'utilisation de points céphalométriques afin dans un second temps de mettre en évidence ou non des rapports de proportionnalité. Il faudra pour cela avoir des points céphalométriques aussi bien au niveau des tissus squelettiques qu'au niveau des tissus cutanés correspondants.

D'autre part, une analyse anatomique par correspondance dense pourra être réalisée pour mettre en évidence, région par région, les directions et amplitudes des mouvements. Cela permettra d'obtenir une vue plus globale des effets induits par la chirurgie au niveau des tissus mous via l'utilisation d'une carte à code couleur, cette fois sans les quantifier.

4.3. Points céphalométriques

Les différents points céphalométriques squelettiques ainsi que leurs points cutanés correspondants devront être marqués sur les images pré et post-opératoires.

14 repères médians :

ANS : épine nasale antérieure / Pronasale Prn: point le plus avancé de la pointe du nez

Point A / Point SN (sous nasal)

Bord incisif de l'Incisive centrale supérieure U1 / point le plus antérieur du milieu du vermillon de la lèvre supérieure UL

Bord incisif de l'incisive centrale inférieure L1 / point le plus antérieur du milieu du vermillon de la lèvre inférieure LL

Point B / Si (sillon labio-mentonnier)

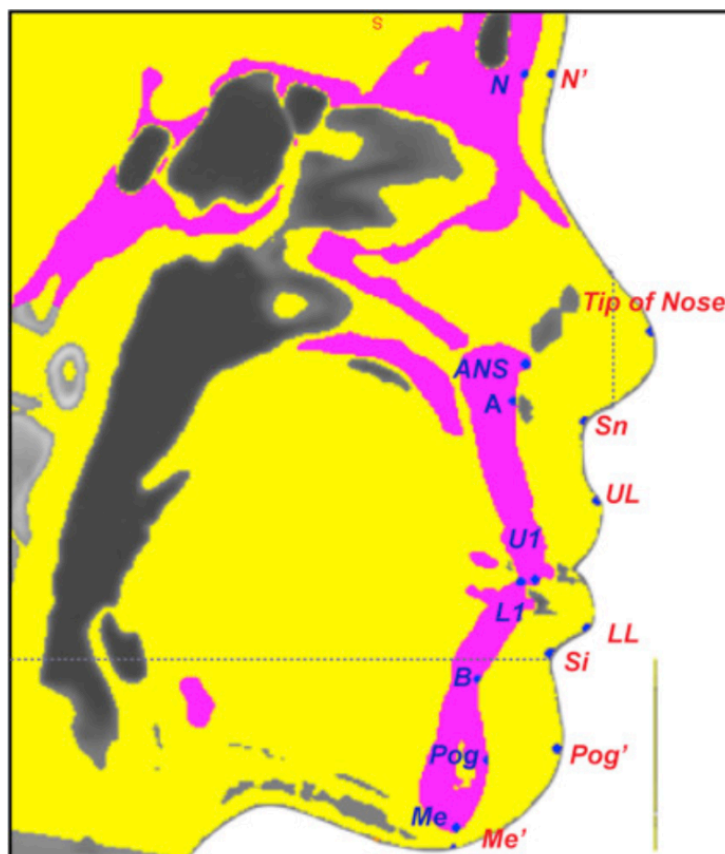
Pog / Pog'

Me / Me'

8 repères latéraux :

Apex des canines droites et gauches maxillaires et mandibulaires / Tissus correspondants

Apex de la racine mésiale des premières molaires droites et gauches maxillaires et mandibulaires / Tissus correspondants



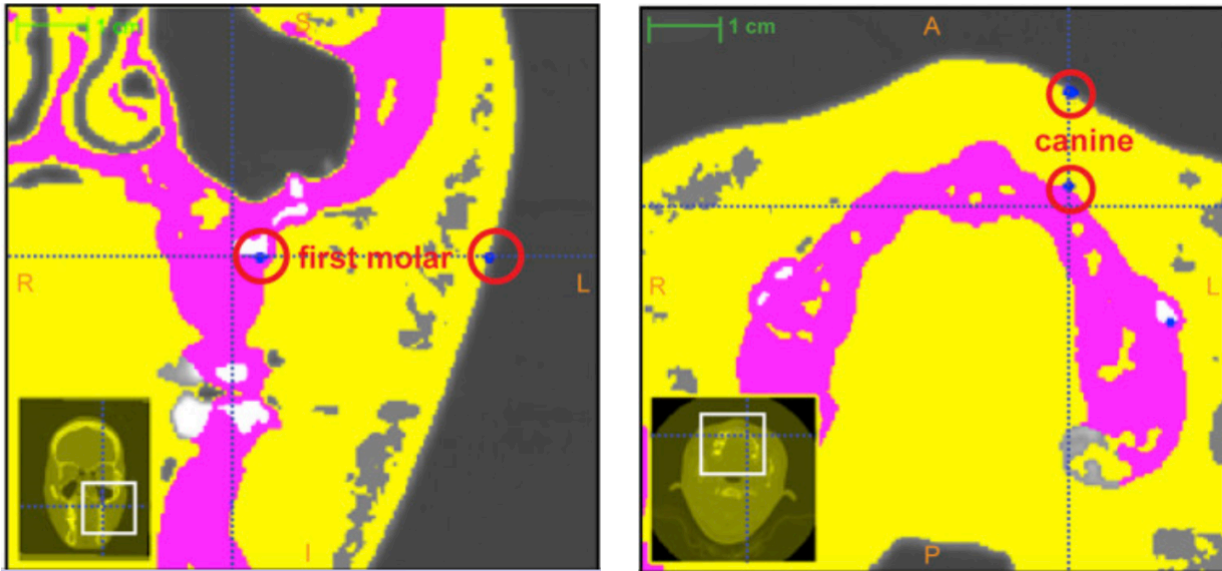


Figure 16 : points céphalométriques (54)

D'autres points cutanés pourront être marqués afin d'évaluer les variations d'autres paramètres, à corrélérer avec les mouvements squelettiques mesurés :

Al r / Al l : largeur des ailes du nez

Ac r / Ac l : largeur de la base du nez

Ch r / Ch l : largeur labiale

UL - Sn – Columelle : angle naso-labial

LL – Si – Pog' : angle labio-mentonnier

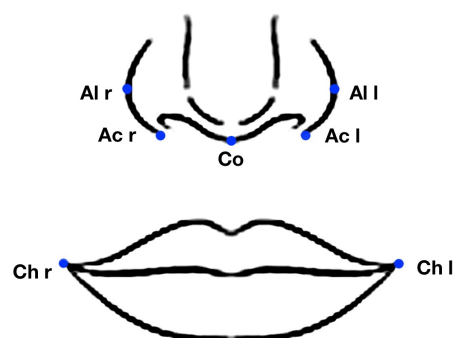


Figure 17 : points céphalométriques

Des logiciels de céphalométrie permettent de calculer la distance 3D entre les points T1 et T2 enregistrés des tissus durs et mous et la distance le long de chacun des axes transversaux, verticaux et antéro-postérieurs.

Il faudra dans un premier temps mesurer les déplacements des tissus durs et des tissus mous entre T1 et T2 dans les trois directions de l'espace pour ensuite évaluer pour chaque cas les ratios entre ces mouvements.

Il faudra ensuite évaluer si l'on retrouve une corrélation entre quantité de mouvement squelettique et quantité de déplacement tissulaire cutané.

5. Discussion

Plusieurs difficultés peuvent être relevées concernant ce protocole.

Tout d'abord, concernant la population de l'étude, pour avoir des résultats exploitables, il faudrait comparer des groupes de patients ayant bénéficié du même type d'intervention chirurgicale. Cependant, notamment dans les cas d'avancée maxillaire, des gestes complémentaires tels que les sutures des ailes du nez sont souvent réalisées et peuvent différer selon les patients. Il ne serait pas éthique de se passer de ces gestes si ils sont nécessaires dans le seul but de réaliser des mesures.

D'autre part, il existe plusieurs étapes manuelles dans ce protocole : superposition des images, orientation des images, positionnement des points céphalométriques qui sont source d'incertitudes.

Pour chaque étape il faudra évaluer la reproductibilité intra- et inter-examineur.

Une étude de Lagravère et Al. en 2010 (60) a montré que, sur les CBCT, des points tels que l'épine nasale antérieure ou l'apex de l'incisive mandibulaire étaient difficilement identifiés dû à des différences de densités et qu'ainsi les erreurs de mesure étaient élevées.

Une revue systématique de la littérature réalisée par Smektala et Al. en 2014 (61) évaluant la fiabilité de la céphalométrie tridimensionnelle, a révélé que si certains repères étaient hautement reproductibles, les mesures linéaires et angulaires différaient considérablement.

Une étude réalisée par Baysal en 2016 (62) évaluant la reproductibilité d'identification des points céphalométriques sur les tissus mous, a déterminé qu'à l'exception du point UL qui

avait une différence intra-examineur inférieure à 0,5mm, les autres points utilisés dans l'étude (dont Al, Ch, Li, Pog, Sn, Prn que nous utilisons dans le protocole) avaient une reproductibilité modérée (différence inférieure à 1mm) mais acceptable.

Enfin, nous pouvons nous demander si selon l'ampleur de la chirurgie, la tension des tissus musculaires et cutanés ne joue pas un rôle rendant les résultats non linéaires.

Conclusion

Des améliorations concernant la méthodologie des protocoles d'évaluation des mouvements des tissus mous semblent possibles.

Cependant, plusieurs sources d'incertitudes au sein même du protocole semblent difficiles à supprimer. Il ne faut pas oublier qu'à ces incertitudes s'ajoutent des facteurs de variabilité inter-individuelle (poids, épaisseur et élasticité des tissus mous, tonicité musculaire...) pouvant impacter les résultats obtenus.

Ce type de protocole présenterait l'avantage de pouvoir étudier des groupes plus importants de patients ayant bénéficié du même type d'intervention et ceci dans les trois dimensions de l'espace. Il permettra probablement l'observation de tendances, de directions de mouvements. Cependant, la mise en évidence de rapports de proportionnalités précis et systématiques semble peu probable et ainsi les prédictions exactes des résultats post-opératoires difficiles.

Tables des illustrations

Figures :

Figure 1 : Principe de triangulation (5)	16
Figure 2 : Exemple d'images acquises par stéréophotogrammétrie (6)	18
Figure 3 : Comparaison des images d'une même personne acquises par stéréophotogrammétrie (a) et par un scanner laser (b) (8)	19
Figure 4 : Exemple d'image extraite d'un MSCT (12)	22
Figure 5 : Exemple de rendu surfacique d'un CBCT facial (14)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 6 : Exemple de rendu volumique d'un CBCT facial – Courtoisie du Dr Laurentjoye	25
Figure 7 : la méthode ICP. (A) Superposition réalisée sur toutes les structures de la base crânienne à l'exception de la zone de croissance périphérique. (B) Image de fusion des CBCT pré et post traitement, superposés sur la base du crâne. (17)	36
Figure 8 : Méthode ICP (appariement entre points les plus proches et non entre les points correspondants) (32)	37
Figure 9 : Méthode d'analyse par correspondance dense (34)	38
Figure 10 : Exemple de carte à code couleur (10)	39
Figure 11 : Flow-chart	42
Figure 12 : mesures utilisées par Paek et al.	44
Figure 13 : mesures utilisées par Paek et al.	45
Figure 14 : mesures utilisées par Lo et al.	51
Figure 15 : Exemple de superposition entre un CBCT et une image surfacique acquises par l'appareil Planmeca ProMax 3D Proface – Courtoisie du Dr Laurentjoye	64
Figure 16 : points céphalométriques (54)	68
Figure 17 : points céphalométriques	68

Tableaux :

Tableau 1 : résumé des avantages et inconvénients de la stéréophotogrammétrie et du scanner laser	20
Tableau 2 : résumé des avantages et inconvénients du MSCT et du CBCT dans le cadre de la chirurgie orthognathique	28
Tableau 3 : caractéristiques des articles inclus	55
Tableau 4 : Résultats des articles inclus	58
Tableau 5 : Synthèse des résultats concernant les interventions maxillaires	58
Tableau 6 : Synthèse des résultats concernant les interventions mandibulaires	59
Tableau 7 : Synthèse des résultats concernant les interventions bimaxillaires	59

Bibliographie

1. Goga D, Battini J, Belhaouari L, Courtois R, Hardy C, Martin T, et al. Améliorer le résultat esthétique et la satisfaction du patient en chirurgie orthognatique. *Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-faciale et de Chirurgie Orale*. 1 sept 2014;115(4):229-38.
2. Boileau M-J, Casteigt J, Frapier L, Canal P. Chapitre 6 - Traitements chirurgico-orthodontiques. In: Boileau M-J, éditeur. *Orthodontie De L'enfant et du Jeune Adulte* [Internet]. Paris: Elsevier Masson; 2011 [cité 17 déc 2019]. p. 207-32. Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9782294709234000068>
3. Béziat J-L. Chirurgie de la dimension transversale. *Orthod Fr*. juin 2011;82(2):159-69.
4. Artopoulos A, Buytaert JAN, Dirckx JJJ, Coward TJ. Comparison of the accuracy of digital stereophotogrammetry and projection moiré profilometry for three-dimensional imaging of the face. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. mai 2014;43(5):654-62.
5. Sigaux N, Ganry L, Mojallal A, Breton P, Bouletreau P. [Stereophotogrammetry and facial surgery: Principles, applications and prospects]. *Ann Chir Plast Esthet*. févr 2018;63(1):62-8.
6. Heike CL, Upson K, Stuhaug E, Weinberg SM. 3D digital stereophotogrammetry: a practical guide to facial image acquisition. *Head Face Med*. 28 juill 2010;6:18.
7. Baik H-S, Kim S-Y. Facial soft-tissue changes in skeletal Class III orthognathic surgery patients analyzed with 3-dimensional laser scanning. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. août 2010;138(2):167-78.
8. Gibelli D, Pucciarelli V, Poppa P, Cummaudo M, Dolci C, Cattaneo C, et al. Three-dimensional facial anatomy evaluation: Reliability of laser scanner consecutive scans procedure in comparison with stereophotogrammetry. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 1 oct 2018;46(10):1807-13.
9. Dagnes N, Marcolin F, Vezzetti E, Sarhan F-R, Dakpé S, Marin F, et al. Optimal marker set assessment for motion capture of 3D mimic facial movements. *Journal of Biomechanics*. 27 août 2019;93:86-93.
10. Almukhtar A, Khambay B, Ju X, Ayoub A. Comprehensive analysis of soft tissue changes in response to orthognathic surgery: mandibular versus bimaxillary advancement. *Int J Oral Maxillofac Surg*. juin 2018;47(6):732-7.
11. Kim Y-K, Moon S-W, Yun P-Y, Lee Y-S, Larson BE, Lee N-K. Evaluation of Soft Tissue Changes Around the Lips After Mandibular Setback Surgery With Minimal Orthodontics Using Three-Dimensional Stereophotogrammetry. *J Oral Maxillofac Surg*. mai 2016;74(5):1044-54.
12. Tiwari R, Chakravarthi PS, Kattimani VS, Lingamaneni KP. A Perioral Soft Tissue evaluation after Orthognathic Surgery Using Three-Dimensional Computed Tomography Scan. *Open Dent J*. 2018;12:366-76.
13. Liang X, Jacobs R, Hassan B, Li L, Pauwels R, Corpas L, et al. A comparative evaluation of Cone Beam Computed Tomography (CBCT) and Multi-Slice CT (MSCT): Part I. On subjective image quality. *European Journal of Radiology*. 1 août 2010;75(2):265-9.
14. Choi B-J, Lee B-S, Kwon Y-D, Lee J-W, Yun S-U, Ryu K-S, et al. Correlation between intraoperative proximal segment rotation and post-sagittal split ramus osteotomy relapse: a three-dimensional cone beam computed tomography study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 1 mai 2018;47(5):613-21.

15. Ferretti G-R, Jankowski A. Tomodensitométrie volumique : reconstructions 2D et 3D. *Revue des Maladies Respiratoires*. déc 2010;27(10):1267-74.
16. Intérêt de la technique de rendu volumique en pathologie ostéo-articulaire. /data/revues/02210363/00820003/221/ [Internet]. 20 mars 2008 [cité 5 févr 2020]; Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/en/article/123077>
17. Park JH, Tai K, Owtad P. 3-Dimensional cone-beam computed tomography superimposition: A review. *Seminars in Orthodontics*. 1 déc 2015;21(4):263-73.
18. Feragalli B, Rampado O, Abate C, Macrì M, Festa F, Stromei F, et al. Cone beam computed tomography for dental and maxillofacial imaging: technique improvement and low-dose protocols. *Radiol Med*. août 2017;122(8):581-8.
19. Yeung AWK, Jacobs R, Bornstein MM. Novel low-dose protocols using cone beam computed tomography in dental medicine: a review focusing on indications, limitations, and future possibilities. *Clin Oral Investig*. juin 2019;23(6):2573-81.
20. Peluso MJ, Josell SD, Levine SW, Lorei BJ. Digital models: An introduction. *Seminars in Orthodontics*. 1 sept 2004;10(3):226-38.
21. Saulue P, Darqué J. Set-up céphalométrique préchirurgical. *J de Edge*. 1 janv 1993;28:67-89.
22. Van Hemelen G, Van Genechten M, Renier L, Desmedt M, Verbruggen E, Nadjmi N. Three-dimensional virtual planning in orthognathic surgery enhances the accuracy of soft tissue prediction. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 1 juill 2015;43(6):918-25.
23. Resnick CM, Dang RR, Glick SJ, Padwa BL. Accuracy of three-dimensional soft tissue prediction for Le Fort I osteotomy using Dolphin 3D software: a pilot study. *Int J Oral Maxillofac Surg*. mars 2017;46(3):289-95.
24. Knoop PGM, Borghi A, Breakey RWF, Ong J, Jeelani NUO, Bruun R, et al. Three-dimensional soft tissue prediction in orthognathic surgery: a clinical comparison of Dolphin, ProPlan CMF, and probabilistic finite element modelling. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 1 avr 2019;48(4):511-8.
25. Khambay B, Ullah R. Current methods of assessing the accuracy of three-dimensional soft tissue facial predictions: technical and clinical considerations. *Int J Oral Maxillofac Surg*. janv 2015;44(1):132-8.
26. Cassi D, De Biase C, Tonni I, Gandolfini M, Di Blasio A, Piancino MG. Natural position of the head: review of two-dimensional and three-dimensional methods of recording. *Br J Oral Maxillofac Surg*. avr 2016;54(3):233-40.
27. Moorrees CFA. Natural head position—a revival. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 mai 1994;105(5):512-3.
28. Leung MY, Lo J, Leung YY. Accuracy of Different Modalities to Record Natural Head Position in 3 Dimensions: A Systematic Review. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 1 nov 2016;74(11):2261-84.
29. Yang HJ, Han JJ, Hwang SJ. Accuracy of 3D reproduction of natural head position using three different manual reorientation methods compared to 3D software. *J Craniomaxillofac Surg*. sept 2018;46(9):1625-30.
30. Almukhtar A, Ju X, Khambay B, McDonald J, Ayoub A. Comparison of the accuracy of voxel based registration and surface based registration for 3D assessment of surgical change following orthognathic surgery. *PLoS ONE*. 2014;9(4):e93402.
31. Cevidanes LHC, Heymann G, Cornelis MA, DeClerck HJ, Tulloch JFC. Superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models of growing patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. juill 2009;136(1):94-9.

32. Miller L, Morris DO, Berry E. Visualizing three-dimensional facial soft tissue changes following orthognathic surgery. *Eur J Orthod.* févr 2007;29(1):14-20.
33. Almukhtar A, Ayoub A, Khambay B, McDonald J, Ju X. State-of-the-art three-dimensional analysis of soft tissue changes following Le Fort I maxillary advancement. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 1 sept 2016;54(7):812-7.
34. Improved facial outcome assessment using a 3D anthropometric mask. - PubMed - NCBI [Internet]. [cité 22 mars 2020]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22103995>
35. Paek SJ, Yoo JY, Lee JW, Park W-J, Chee YD, Choi MG, et al. Changes of lip morphology following mandibular setback surgery using 3D cone-beam computed tomography images. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* [Internet]. 5 oct 2016 [cité 16 mars 2020];38(1). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5050232/>
36. Chang Y-J, Ruellas ACO, Yatabe MS, Westgate PM, Cevitanes LHS, Huja SS. Soft Tissue Changes Measured With Three-Dimensional Software Provides New Insights for Surgical Predictions. *J Oral Maxillofac Surg.* oct 2017;75(10):2191-201.
37. Jung J, Lee C-H, Lee J-W, Choi B-J. Three dimensional evaluation of soft tissue after orthognathic surgery. *Head Face Med.* 5 oct 2018;14(1):21.
38. Suzuki-Okamura E, Higashihori N, Kawamoto T, Moriyama K. Three-dimensional analysis of hard and soft tissue changes in patients with facial asymmetry undergoing 2-jaw surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* sept 2015;120(3):299-306.
39. van Loon B, van Heerbeek N, Bierenbroodspot F, Verhamme L, Xi T, de Koning MJJ, et al. Three-dimensional changes in nose and upper lip volume after orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* janv 2015;44(1):83-9.
40. Lo L-J, Weng J-L, Ho C-T, Lin H-H. Three-dimensional region-based study on the relationship between soft and hard tissue changes after orthognathic surgery in patients with prognathism. *PLoS One* [Internet]. 1 août 2018 [cité 27 févr 2020];13(8). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6070212/>
41. Kim K-A, Chang Y-J, Lee S-H, An H-J, Park K-H. Three-dimensional soft tissue changes according to skeletal changes after mandibular setback surgery by using cone-beam computed tomography and a structured light scanner. *Progress in Orthodontics.* 1 juill 2019;20(1):25.
42. Abedini S, Elkenawy I, Kim E, Moon W. Three-dimensional soft tissue analysis of the face following micro-implant-supported maxillary skeletal expansion. *Progress in Orthodontics.* 19 nov 2018;19(1):46.
43. Kim B-R, Oh K-M, Cevitanes LHS, Park J-E, Sim H-S, Seo S-K, et al. Analysis of 3D soft tissue changes after 1- and 2-jaw orthognathic surgery in mandibular prognathism patients. *J Oral Maxillofac Surg.* janv 2013;71(1):151-61.
44. Verdenik M, Ihan Hren N. Differences in three-dimensional soft tissue changes after upper, lower, or both jaw orthognathic surgery in skeletal class III patients. *Int J Oral Maxillofac Surg.* nov 2014;43(11):1345-51.
45. Peng J, Jiang J, Zhao Y, Wang Y, Li Z, Wang N, et al. [Preliminary evaluation on 3-dimension changes of facial soft tissue with structure light scanning technique before and after orthognathic surgery of Class III deformities]. *Beijing Da Xue Xue Bao.* 18 févr 2015;47(1):98-103.
46. Day CJ, Robert T. Three-dimensional assessment of the facial soft tissue changes that occur postoperatively in orthognathic patients. *World J Orthod.* 2006;7(1):15-26.
47. Alves PVM, Zhao L, Patel PK, Bolognese AM. Three-dimensional facial surface analysis

- of patients with skeletal malocclusion. *J Craniofac Surg.* mars 2009;20(2):290-6.
48. Oh K-M, Seo S-K, Park J-E, Sim H-S, Cevidanes LHS, Kim Y-JR, et al. Post-operative soft tissue changes in patients with mandibular prognathism after bimaxillary surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* avr 2013;41(3):204-11.
 49. Park S-B, Yoon J-K, Kim Y-I, Hwang D-S, Cho B-H, Son W-S. The evaluation of the nasal morphologic changes after bimaxillary surgery in skeletal class III malocclusion by using the superimposition of cone-beam computed tomography (CBCT) volumes. *J Craniomaxillofac Surg.* juin 2012;40(4):e87-92.
 50. Lim Y-K, Chu E-H, Lee D-Y, Yang I-H, Baek S-H. Three-dimensional evaluation of soft tissue change gradients after mandibular setback surgery in skeletal Class III malocclusion. *Angle Orthod.* sept 2010;80(5):896-903.
 51. Coban G, Yavuz I, Karadas B, Demirbas AE. Three-dimensional assessment of nasal changes after maxillary advancement with impaction using stereophotogrammetry. *Korean J Orthod.* 25 juill 2020;50(4):249-57.
 52. Wermker K, Kleinheinz J, Jung S, Dirksen D. Soft tissue response and facial symmetry after orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* sept 2014;42(6):e339-345.
 53. Wu Y-T, Sun J, Li Y-L, Chen L-Q, Chen C. Three dimensional study on change ratios of hard and soft tissue after orthognathic surgery. *Shanghai kou qiang yi xue = Shanghai journal of stomatology.* 2019;28(2):158-64.
 54. Joss CU, Joss-Vassalli IM, Kiliaridis S, Kuijpers-Jagtman AM. Soft Tissue Profile Changes After Bilateral Sagittal Split Osteotomy for Mandibular Advancement: A Systematic Review. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 1 juin 2010;68(6):1260-9.
 55. Khamashta-Ledezma L, Naini FB. Systematic review of changes in maxillary incisor exposure and upper lip position with Le Fort I type osteotomies with or without cinch sutures and/or VY closures. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 1 janv 2014;43(1):46-61.
 56. Olate S, Zaror C, Mommaerts MY. A systematic review of soft-to-hard tissue ratios in orthognathic surgery. Part IV: 3D analysis - Is there evidence? *J Craniomaxillofac Surg.* août 2017;45(8):1278-86.
 57. Olate S, Zaror C, Blythe JN, Mommaerts MY. A systematic review of soft-to-hard tissue ratios in orthognathic surgery. Part III: Double jaw surgery procedures. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery.* 1 oct 2016;44(10):1599-606.
 58. Paredes de Sousa Gil A, Guijarro-Martínez R, Haas OL, Hernández-Alfaro F. Three-dimensional analysis of nasolabial soft tissue changes after Le Fort I osteotomy: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg.* sept 2019;48(9):1185-200.
 59. Lin H-H, Chuang Y-F, Weng J-L, Lo L-J. Comparative Validity and Reproducibility Study of Various Landmark-Oriented Reference Planes in 3-Dimensional Computed Tomographic Analysis for Patients Receiving Orthognathic Surgery. *PLoS One [Internet].* 10 févr 2015 [cité 27 avr 2020];10(2). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4323243/>
 60. Lagravère MO, Low C, Flores-Mir C, Chung R, Carey JP, Heo G, et al. Intraexaminer and interexaminer reliabilities of landmark identification on digitized lateral cephalograms and formatted 3-dimensional cone-beam computerized tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* mai 2010;137(5):598-604.
 61. Smektała T, Jędrzejewski M, Szyndel J, Sporniak-Tutak K, Olszewski R. Experimental and clinical assessment of three-dimensional cephalometry: A systematic review. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery.* 1 déc 2014;42(8):1795-801.

62. Baysal A, Sahan AO, Ozturk MA, Uysal T. Reproducibility and reliability of three-dimensional soft tissue landmark identification using three-dimensional stereophotogrammetry. *Angle Orthod.* nov 2016;86(6):1004-9.

Vu, Le Président du Jury,

Date, Signature :

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

Date, Signature :

Vu, le Président de l'Université de Bordeaux,

Date, Signature :

Evaluation tridimensionnelle de l'impact des chirurgies orthognatiques sur les tissus mous de la face. Mise au point d'un protocole.

Résumé

La quantification de l'impact des traitements par chirurgie orthognathique sur les tissus cutanés et donc sur l'esthétique faciale du patient est un enjeu important pour les professionnels de santé afin de pouvoir prédire au mieux les résultats attendus en post-chirurgical. Avec le développement des technologies 3D et afin d'améliorer les prédictions réalisées par les logiciels de set up, la quantification de ces mouvements est nécessaire. Une revue systématique de la littérature a été réalisée afin de mettre en évidence les données actuelles mesurant l'impact des chirurgies orthognatiques sur les tissus cutanés superficiels, utilisant une analyse 3D.

Les 11 articles retenus montrent une grande hétérogénéité des résultats. Si des concordances sont retrouvées concernant la direction des mouvements, il existe une grande différence au niveau des ratios observés.

Un protocole d'évaluation de l'impact des mouvements des tissus durs sur les tissus mous faciaux utilisant la technologie 3D a été proposé.

Mots clés : chirurgie orthognatique – tissus cutanés faciaux – imagerie 3D

Three-dimensional evaluation of the impact of orthognathic surgery on facial soft tissues. Development of a protocol.

Abstract

Quantifying the impact of orthognathic surgery treatments on facial soft tissues and therefore on the patient's facial aesthetics is an important issue for healthcare professionals in order to be able to predict the post-surgical results. With the development of 3D technologies and in order to improve the predictions made by set-up software, the quantification of these movements is necessary.

A systematic review of the literature was performed to highlight current data measuring the impact of orthognathic surgeries on facial soft tissues, using 3D analysis.

The 11 articles selected show a great heterogeneity of the results. If concordances are found concerning the direction of the movements, there is a difference in the observed ratios.

A protocol of evaluation about the impact of hard tissue movements on facial soft tissue using 3D technology has been proposed.

Key words : orthognathic surgery – facial soft tissues – 3D imaging

DIRECTEUR : Dr Etienne BARDINET