

*Société Française de Stomatologie,
Chirurgie Maxillo-Faciale et Chirurgie Orale*

**Techniques d'imagerie en chirurgie
orthognathique
Recommandations de Bonne Pratique**

Juillet 2017

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	3
ACQUISITION D'IMAGES / EVALUATION.....	6
I. QUELS EXAMENS D' IMAGERIE POUR LES TISSUS MOUS DE LA FACE.....	6
II. QUELS EXAMENS D' IMAGERIE POUR LES TISSUS SQUELETTIQUES	8
II.1. Imagerie conventionnelle 2D/ imagerie 3D	8
II.2.Rappel des principes de radioprotection	10
II.3. Dosimétrie comparative	12
II.4. Comparaison des performances techniques	15
II.5. Céphalométrie 3D	16
III. QUELS EXAMENS D' IMAGERIE POUR LES TISSUS DENTAIREES	18
IV. QUELS EXAMENS D' IMAGERIE POUR L'ATM.....	19
V.QUELS EXAMENS D' IMAGERIE POUR LES VAS.....	21
VI. QUELS EXAMENS D' IMAGERIE POUR LES STRUCTURES NERVEUSES	23
MODELES DE FUSION 3D DES DIFFERENTES IMAGES ACQUISES	24
I .MODELE DE TETE VIRTUEL : FUSION DES 3 TYPES DE DONNEES	24
II. ATM : FUSION DES IMAGES IRM ET CBCT/TDM	27
PLANIFICATION /SIMULATION CHIRURGICALE 3D	29
I. BENEFICES THERAPEUTIQUES DE LA SIMULATION 3D	30
II. PERFORMANCES TECHNIQUES	31
II.1.Au niveau des tissus durs	31
II.2. Au niveau des tissus mous.....	35
III. OUTILS DE TRANSFERT DES DONNEES	36
III.1 Gouttières chirurgicales CFAO.....	37
III.2. Système de repositionnement / mini-plaques et guides de coupe CFAO	38
NAVIGATION	40
SYNTHESE DES RECOMMANDATIONS	43
ANNEXE I : METHODE.....	53
ANNEXES II : PARTICIPANTS.....	56
ANNEXE III : RÉFÉRENCES.....	57

INTRODUCTION

La chirurgie orthognathique vise à corriger des dysmorphoses squelettiques par repositionnement chirurgical des bases osseuses dans une position d'équilibre cranio-faciale.

Elle peut donc être recommandée en présence d'anomalies squelettiques faciales et maxillo-mandibulaires, antéro-postérieures, verticales, transversales et en présence d'asymétries. La chirurgie peut être aussi recommandée en présence de dysfonctions concernant les voies aériennes (par ex, SAHOS) et de dysfonctions de l'ATM.

Dans tous les cas, elle a pour objectif de rétablir les fonctions physiologiques (occlusion dentaire, mastication, phonation, respiration) et sociales du patient (harmonisation faciale, amélioration du sourire) tout en assurant la stabilité dans le temps.

La chirurgie orthognathique intègre la chirurgie des maxillaires (ostéotomies de Le Fort, disjonction palatine, ostéotomies segmentaires) et la chirurgie de la mandibule (génioplastie, ostéotomie sagittale des branches montantes). Des interventions chirurgicales plus complexes (ostéotomies de Le Fort II ou III) peuvent intégrer les os nasaux, orbito-zygomatiques et la voûte fronto-temporo-pariétale (chirurgie cranio-faciale).

Depuis plusieurs années, les progrès technologiques ont contribué à introduire l'imagerie 3D dans le champ de la chirurgie orthognathique, avec l'acquisition d'images et leur traitement numérique, le développement de logiciels de simulation et de planification et l'introduction de logiciels d'aide à la navigation.

Ces examens d'imagerie doivent être justifiés par des conditions cliniques (basées sur l'examen et l'anamnèse) pour lesquelles les bénéfices médicaux attendus seront suffisants en regard du risque potentiel lié à l'exposition aux radiations.

L'acquisition d'images 3D permet l'évaluation pré et postopératoire des tissus mous, durs dentaires et squelettiques, en contournant les limites de l'imagerie 2D.

Des modèles numériques résultant de la fusion d'images sont en cours de développement afin de créer une tête virtuelle intégrant les différents tissus cranio-faciaux.

La chirurgie assistée par ordinateur (CAO), en plein essor, regroupe tout un ensemble d'outils informatiques destinés à aider le chirurgien dans la planification et la réalisation de l'acte opératoire, afin d'en améliorer la précision, l'efficacité voire la sécurité. Avant l'intervention, les images 3D obtenues sont passées au crible de logiciels d'analyse spécifique qui peuvent créer le modèle numérique du patient.

En analysant ce modèle numérique sous tous les angles et à toutes les profondeurs possibles, le chirurgien peut affiner le diagnostic, et surtout planifier avec précision les gestes à

effectuer durant l'opération. Des logiciels de modélisation permettent de simuler l'opération en 3D.

Lors de l'intervention chirurgicale proprement dite, la CAO peut intervenir de différentes manières. Des informations collectées pendant la phase de planification peuvent être incrustées sur les écrans de contrôle utilisés par le chirurgien : frontières précises entre différentes structures anatomiques, repères anatomiques, cibles à atteindre. On parle alors de réalité augmentée.

Ces recommandations visent à répondre aux questions suivantes :

Quels sont les examens d'imagerie (2D, 3D) recommandés pour évaluer les tissus mous de la face, les tissus durs squelettiques et dentaires ?

Quels sont les examens d'imagerie recommandés pour évaluer l'ATM ?

Quels sont les examens d'imagerie recommandés pour évaluer les voies aériennes supérieures ?

Quels sont les examens d'imagerie recommandés pour localiser les structures nerveuses ?

Quelles sont la faisabilité et la précision des modèles de fusion des images obtenues ?

Quels sont les performances techniques et les bénéfices thérapeutiques de la simulation chirurgicale/planification 3D ?

Quels sont les performances techniques et les bénéfices thérapeutiques de la navigation chirurgicale ?

Ces recommandations s'adressent aux chirurgiens maxillo-faciaux, orthodontistes (ODF et ODMF), stomatologues, chirurgiens oraux et radiologues.

La méthode de réalisation de ces recommandations (voir annexe I) s'est appuyée sur plusieurs étapes :

- Cadrage du thème avec le groupe de pilotage ;
- Phase de revue systématique de la littérature et synthèse critique des données identifiées ;
- Rédaction de l'argumentaire / version initiale des recommandations, concises et gradées selon les niveaux de preuve scientifique identifiés ;
- Soumission à un groupe pluridisciplinaire d'experts (odontologues, stomatologues et chirurgiens maxillo-faciaux, radiologues) constitué de 12 professionnels ; discussion et validation des recommandations proposées à l'issue d'une réunion de travail qui s'est tenue le 1 juin 2017;
- Phase de lecture externe avec un groupe de lecture pluridisciplinaire dont chaque membre a rendu un avis consultatif, à titre individuel ;
- Finalisation et diffusion.

ABREVIATIONS

AAOMFR: American Association of Oral and Maxillo Facial Radiology
ALADA: As Low As Diagnostically Achievable
ASN : Autorité de sureté nucléaire
ATM: Articulation Temporo-Mandibulaire
BSSO: Bilateral Sagittal Split Osteotomy
CAO-DAO : Conception et Dessin assistés par Ordinateur
CBCT: Cone Beam Computed Tomography
CFAO : Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur
CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique
CSP : Code de la Santé Publique
DICOM: Digital Imaging and Communications in Medicine
EADMFR: European Academy of Dento-Maxillo-Facial Radiology
EMR: Expansion Maxillaire Rapide
FFO : Fédération Française d'Orthodontie
FOV: Field of View.
IAEA: International Atomic Energy Agency
ICC : Coefficient de Corrélation Intraclass
IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
IRM : Imagerie par Résonance Magnétique
MDCT : multi detector computed tomography
mSv : millisievert (unité quantifiant le risque lié à une exposition à des rayonnements ionisants)
OAM : Orthèse d'Avancée Mandibulaire
ODF : Orthopédie Dento Faciale
PPC : Pression Positive Continue
SAHOS: Syndrome d'Apnée Hypopnée Obstructive du Sommeil
SEDEXCT: Safety and Efficacy of a new and emerging Dental X-ray modality
SFSCMFCO : Société Française de Stomatologie, Chirurgie Maxillo-Faciale et Chirurgie Orale
STL : STéréoLithographie
TDM : Tomodensitométrie

Acquisition d'images / Evaluation

L'évaluation préopératoire des 3 tissus, tissus mous, tissus squelettiques de la face et tissus dentaires, est indispensable pour planifier la chirurgie orthognathique.

L'évaluation post-opératoire permet d'apprécier les résultats obtenus.

I. Quels examens d'imagerie pour les tissus mous de la face?

Avec la chirurgie orthognathique et les résultats esthétiques attendus par le patient, il est important de simuler le devenir des tissus mous et l'apparence faciale au regard des modifications squelettiques planifiées.

Afin de mieux visualiser les changements volumétriques attendus, l'équilibre neuromusculaire et l'harmonie des différentes parties de la face, les chirurgiens peuvent avoir recours à des techniques d'imagerie 3D : IRM, ultrasonographie, scanner de surface, photographie 3D (stéréophotogrammétrie) et imagerie vidéo 3D.

Les désavantages de certaines techniques, distorsion de surface avec l'ultrasonographie, nécessité de position horizontale pour l'IRM, et danger pour les yeux lié au laser de contour de surface conduisent certains auteurs à privilégier la photographie 2D ou 3D¹.

La céphalométrie 2D réalisée à partir de téléradiographies 2D de face et de profil et associée à la photographie standard est encore utilisée en routine en chirurgie orthognathique pour évaluer avec précision les tissus mous et planifier le traitement².

Cependant, ces techniques n'ont pas les avantages des techniques 3D que sont la rapidité de capture d'image, l'archivage possible, la haute résolution et l'absence d'irradiation particulièrement chez l'enfant³.

De même, l'évaluation 3D des tissus mous a été introduite pour renforcer le niveau d'information requis pour l'analyse des cas complexes, d'asymétries faciales⁴ et d'anomalies type fentes labio-palatines⁵.

Des études (tableau 1) ont montré que la stéréophotogrammétrie permettait un haut niveau de précision, une bonne reproductibilité inter et intra-observateur pour l'identification des points de repère des tissus mous⁶⁻¹⁰.

En comparant plusieurs techniques 3D de mesure des tissus mous, les résultats ont montré que la fiabilité et la reproductibilité des mesures était bonne pour chaque technique, avec des différences moyennes non significatives⁹⁻¹⁰.

Les techniques 3D, stéréophotogrammétrie et scanner laser de surface, sont également préconisées par des auteurs pour évaluer les résultats obtenus après la chirurgie orthognathique⁴ et pour les patients opérés pour une fente labiopalatine⁵.

Tableau 1 : Etudes techniques d'analyse des tissus mous

Auteur Année	N patients Méthode	Résultats
Dindaroglu ⁹ 2016	80 3 méthodes : photogramétrie 2D avec règle calibrée, Anthropométrie directe avec pied à coulisse, Stéréophotogrammétrie 3dMD flex system® 13 points de référence	Différence moyenne entre les 3 méthodes NS (<1mm) avec accord (ICC) : 0.96 (Sn-Prn) à 0.99 Pour stéréophotogrammétrie : différence moyenne <0.2 mm pour mesures linéaires et <0.2° pour mesures angulaires Reproductibilité Inter-obs : 0.90 (chéliion-chéliion) à 0.99 (Sous-nasal-menton)
Nord ⁷ 2015	8 Stéréophotogrammétrie 3dMD Face system® 27 points de référence	Précision bonne à moyenne pour 24 points de référence Précision basse : points Gonion mous D et G et point sous nasal
Kook ¹⁰ 2014	12 (mannequins) 5 méthodes : 3D caméra stéréoscopique DI3D system®, Anthropométrie directe avec pied à coulisse, laser scan, numériseur MicroScriber®, CB MercuRay® 15 points de référence	Bonne reproductibilité : ICC≥0.92 Erreur technique de mesure <0.9 mm Pour chaque technique erreur de mesure<0.7mm
Plooiij ⁶ 2009	20 Stéréophotogrammétrie 3dMD Face system® 49 points de référence	Reproductibilité Intra-obs : 0.97 Inter-obs : 0.94
De Menesez ⁸ 2010	10 Stéréophotogrammétrie Vectra® 50 points de référence 16 Mesures linéaires	Erreur moyenne <1mm Excepté chéliion-chéliion Avec changement de calibre, erreur<0.91 Mesures répétées NS p>0.05

Conclusions de la littérature

Plusieurs études ont analysé la précision et la fiabilité des techniques d'analyse 3D des tissus mous faciaux, en pré et post-opératoire. Les résultats ont montré que ces méthodes d'analyse, parmi lesquelles la stéréophotogrammétrie et le scanner laser de surface, sont précises et reproductibles.

Ces techniques présentent plusieurs avantages, rapidité de capture d'image, archivage possible, haute résolution et absence d'irradiation.

Recommandation 1

Grade C	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.
----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

II. Quels examens d'imagerie pour les données squelettiques?

II.1. Imagerie conventionnelle 2D/ imagerie 3D

Les examens radiographiques sont justifiés pour préciser les relations dento-maxillaires et maxillo-faciales. Ils sont aussi utiles pour suivre les progrès du traitement et les changements liés à la croissance.

Des recommandations américaines et européennes¹¹⁻¹⁴ stipulent que la radiographie panoramique (ou orthopantomogramme) est l'examen de base pour évaluer l'âge dentaire, l'état et le développement des dents et des structures associées et dépister des anomalies dentaires, des problèmes d'éruption ou des pathologies. Si nécessaire, la radiographie intraorale (rétro-alvéolaire et/ou occlusale) peut être recommandée pour obtenir des informations complémentaires plus précises sur une zone dentaire ou alvéolaire.

La téléradiographie de profil en occlusion centrée permet l'analyse des structures crâniennes, faciales, dentaires et rachidiennes, dans le sens antéropostérieur et le sens vertical, en minimisant les déformations ; elle ne donne cependant aucune information sur le sens transversal qui nécessite pour son analyse le recours à la téléradiographie en incidence axiale et frontale.

Pour surmonter les limites de l'imagerie 2D, des techniques d'imagerie 3D adaptées aux différents types de tissus ont été introduites pour obtenir des données détaillées et précises. Des modèles de fusion d'images ont été également développés en intégrant au moins 2 techniques d'imagerie différentes et désormais, l'obtention d'images 3D pour les 3 composantes du massif cranio-facial et leur fusion permettent de créer une tête virtuelle intégrant tous les tissus¹.

Les techniques d'imagerie 3D utilisées pour la reconstruction du squelette facial en vue d'une chirurgie orthognathique sont le scanner et le CBCT. La qualité des données squelettiques obtenues avec l'IRM n'est pas suffisante pour justifier son utilisation en vue d'une chirurgie orthognathique¹.

Pour analyser les dysmorphoses squelettiques, un des avantages de l'imagerie 3D par rapport à la radiographie conventionnelle 2D (panoramique+ téléradiographies de face et de profil) est d'apporter des informations volumétriques, de surface et sectionnelles, sur les structures cranio-faciales. Elle pallie certaines limites de la radiographie 2D telles que le manque de perspective, des erreurs de projection, l'agrandissement, la distorsion géométrique, la superposition de structures et la position inconstante de la tête.

Le scanner procure des images de haute qualité mais l'irradiation demeure élevée pour les scanners d'ancienne génération. Le CBCT a été introduit en chirurgie orthognathique afin de réduire la dose délivrée au patient tout en permettant l'acquisition d'images en position assise (tissus mous faciaux dans leur position orthostatique) et en réduisant les artéfacts métalliques. Ses avantages par rapport au scanner résident également dans un coût moindre et dans la facilité d'accès¹. Toutefois, selon les auteurs¹, il présente des inconvénients : absence d'analyse des parties molles, absence de calibration de l'unité de Hounsfield, nécessité d'algorithmes de reconstruction plus précis, temps d'acquisition plus long, champ d'acquisition réduit (encore pour la plupart des machines), immobilité (coopération du patient requise) et appui mentonnier.

Les recommandations européennes¹⁵ préconisent le recours au CBCT en chirurgie orthognathique, au regard du principe de radioprotection, dans la mesure où ce dernier est moins irradiant que le scanner.

Recommandation 2

Grade C	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 ALADA doit être respecté (voir recommandation 4).
----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Recommandation 3

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

II.2. Rappel des principes de radioprotection

Avec l'augmentation des examens, l'exposition de la population française aux radiations de l'imagerie médicale, principalement les scanners, a légèrement augmenté en cinq ans avec 81,8 millions d'actes de diagnostic en 2012, soit une hausse de 6 % par rapport à 2007, selon un rapport de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire¹⁶.

Le nombre des examens d'imagerie progresse, mais l'IRSN rappelle que l'imagerie a un "impact positif très fort sur la qualité de prise en charge des patients" grâce à la possibilité de détection précoce et précise de nombreuses pathologies. Environ 44 % de la population a bénéficié d'au moins un acte d'imagerie en 2012. Le pourcentage des individus concernés augmente avec l'âge. Les examens par scanner, qui ne représentent que 10,4 % du nombre des actes, constituent 71,3 % de la dose totale des radiations délivrées (contre 58 % de la dose totale en 2007).

La radiologie conventionnelle (hors radiologie dentaire) représente 54 % des actes pour 17,7 % de la dose totale délivrée, la médecine nucléaire 1,3 % des actes pour 7,8 % de la dose totale délivrée, et la radiologie dentaire 33,8 % des actes pour 0,2 % de la dose délivrée. Un recul de 6 % du nombre des actes de radiologie conventionnelle a été observé entre 2007 et 2012. Parallèlement, les actes de radiologie dentaire ont augmenté de 50 % sur dix ans (2002- 2012).

Les dispositions réglementaires françaises de radioprotection médicale et dentaire¹⁷, ont été actualisées en 2016. Elles soulignent la nécessité de réduire l'exposition des patients par la suppression des examens d'imagerie non justifiés et par l'utilisation préférentielle des techniques non irradiantes. Elles visent à améliorer les pratiques cliniques par la rationalisation des indications des examens d'imagerie et à servir de référentiel pour les audits cliniques.

Une analyse préalable doit permettre de s'assurer que cette exposition présente un avantage médical direct suffisant au regard du risque qu'elle peut présenter et qu'aucune autre technique donnant un résultat comparable mais présentant un risque moindre d'exposition ou ne comportant pas de risque d'exposition n'est disponible (article R. 1333-56 du code de la santé publique).

Au-delà de ce principe de justification, afin de maintenir la dose reçue par le patient au niveau le plus faible raisonnablement possible, le principe d'optimisation doit s'appliquer lors du choix de l'équipement radiologique et lors de la réalisation de l'acte, tout en permettant d'atteindre l'objectif prévu (articles R. 1333-59 du code de la santé publique).

Dans son rapport 2016, l'ASN rappelle les recommandations pratiques pour maîtriser la dose délivrée au patient :

- Utiliser l'émission des rayons X le moins possible ;
- Prendre en considération que le débit de dose et la dose intégrée sont toujours plus élevés chez les patients corpulents ;
- Maintenir le courant au niveau le plus bas possible en conservant la tension la plus élevée, compromis entre qualité d'image et diminution de la dose ;
- Avoir la distance maximale possible entre le tube RX et le patient ;
- Avoir la distance minimale possible entre l'amplificateur et le patient ;
- Ne pas utiliser de manière excessive l'agrandissement d'image (le grossissement) ;
- Enlever la grille lors d'interventions sur de petits patients (enfants) ou lorsque l'amplificateur ne peut être placé au plus près du patient ;
- Limiter la collimation à la région d'intérêt ;
- Si possible multiplier les portes d'entrées du faisceau ou modifier la position du patient pour ne pas d'exposer tout le temps la même région aux rayons X ;
- Connaître les différents modes de fonctionnement de l'installation.

Une formation à la radioprotection est obligatoire pour tous les professionnels concernés, selon leur domaine de compétence initial.

Sous réserve de l'évolution réglementaire, et conformément à l'arrêté du 18 mai 2004,

« Les professionnels pratiquant des actes de radiodiagnostic, de radiothérapie, ou de médecine nucléaire à des fins de diagnostic, de traitement ou de recherche biomédicale exposant les personnes à des rayonnements ionisants et les professionnels participant à la réalisation de ces actes, à la maintenance et au contrôle de qualité des dispositifs médicaux doivent bénéficier, dans leur domaine de compétence, d'une formation théorique et pratique, initiale et continue, relative à la radioprotection des personnes exposées à des fins médicales relevant , s'il y a lieu, des articles L. 6313-1 à L. 6313-11 du code du travail » (article L. 1333-11 du code de la santé publique).

Recommandation 4

Réglementaire	Au regard des principes de radioprotection, si le recours au CBCT/TDM est justifié par la nécessité d'obtenir des informations ne pouvant être apportées par la radiographie conventionnelle 2D moins irradiante, leur utilisation devra être optimisée afin d'obtenir une dose d'irradiation aussi faible que possible et compatible avec la qualité d'image requise.
----------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Recommandation 5

Réglementaire	Tout chirurgien, utilisateur et responsable d'un équipement CBCT à son cabinet, doit se conformer aux obligations réglementaires concernant la formation requise, l'installation, les contrôles d'ambiance et les contrôles techniques de radioprotection.
----------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Recommandation 6

Réglementaire	Lorsque le chirurgien adresse son patient à un radiologue pour l'examen CBCT/TDM, toutes les informations, issues de l'examen clinique et de l'anamnèse et justifiant l'examen, doivent être transmises. Quant au réalisateur de l'acte, il transmet au prescripteur les images réalisées, idéalement dans le format natif (DICOM), accompagnées d'un compte-rendu qui devra intégrer toutes les données d'imagerie, leur interprétation ainsi que l'information utile à l'estimation de la dose reçue par le patient. Ces données seront conservées dans le dossier du patient.
----------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Recommandation 7

AE	Les experts recommandent de transmettre au radiologue les informations suivantes : indication (diagnostic ou planification), type d'examen (conventionnel 2D, imagerie en coupes 3D), zone anatomique à étudier (limites du champ d'acquisition), inclusion des ATM et du nez, type d'occlusion (intercuspidation maximale (dents serrées), relation centrique (avec guide en bouche), dents desserrées), position de la tête et maintien du patient pour l'examen.
-----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

II.3. Données dosimétriques comparatives

Dans ses recommandations concernant les indications et le champ d'application du CBCT en orthodontie, la Fédération Française d'Orthodontie¹⁸ a rapporté des données comparatives dosimétriques concernant plusieurs techniques d'imagerie utilisées en orthodontie.

La FFO mentionne que « les données dosimétriques les plus récentes rapportées dans des RBP, dans une méta-analyse et dans des études menées en orthodontie, montrent que la dose délivrée par les appareils CBCT est, avec des protocoles standards, inférieure à celle du scanner mais demeure significativement plus élevée que celle de la radiographie conventionnelle (panoramique et téléradiographies). Des données montrent toutefois une réduction des doses avec des protocoles CBCT « low dose » (voir tableau 2).

La dosimétrie varie considérablement selon les protocoles retenus ; le choix possible de différents champs de vue selon le diagnostic souhaité est important en termes d'optimisation. Pour les appareils CBCT, une revue récente a montré que plusieurs paramètres d'exposition pouvaient être optimisés pour réduire la dose d'irradiation tout en

maintenant la qualité d'image. Les auteurs¹⁹ soulignaient que des recherches plus rigoureuses devaient être poursuivies.

Tableau 2 : Dosimétrie comparative (μSv) d'après Fédération Française d'Orthodontie 2017

Technique d'imagerie	AAOM 2013	UK 2015	Ludlow 2015 Tous protocoles confondus		Ludlow protocoles low dose		Etudes spécifiques en orthodontie
			Adulte	Enfant	Adulte	Enfant	
Radio intrabuccale Périapicale/bitewing		0.3-22					
Panoramique	12	2.7-38					21.5-27.1
Occlusale		8					
Téléradio de profil	5.6	2.2-5.6					2.5-5.03
Téléradio profil +face							10.4
Téléradio face							8.90
Pano+ téléradio profil+face							35.81
SCANNER max-mand		250-1400					429.7
CBCT FOV<10	60	10-670	84	103	13.8	48/10	
CBCT FOV : 10-15			177	175	60/12		50-90.99
CBCT FOV >15	83	30-1100	212	175	72/18	74/15	134.2 (17 cm) - 208.9 (22cm)

Des études²⁰⁻²⁵ ont comparé les doses efficaces obtenues avec le CBCT et le scanner en se basant sur les recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) de 2007, introduisant dans le calcul des doses efficaces, les tissus de la région maxillo-faciale, glandes salivaires, muqueuse orale et région extra-thoracique, qui jusqu'alors, n'étaient pas pris en compte individuellement.

Ces études ont mis en évidence que la dose délivrée par les appareils CBCT et le scanner pouvait être réduite avec l'optimisation des paramètres ; cependant, la dose délivrée par les appareils CBCT est, avec des protocoles standards, inférieure à celle du scanner (tableau 3).

Une étude de dosimétrie²⁶ basée sur les méthodes recommandées par l'American Association of Physicists in Medicine²⁷, a comparé le CBCT et le scanner, même champ et paramètre 100 mAs, en mesurant les doses sur un fantôme anthropomorphe et en utilisant des films GafchromicTM.

La dose efficace obtenue avec le CBCT était 2 fois moins élevée que celle obtenue avec le scanner (11.4 mGy vs 20.7 mGy). Les doses efficaces étaient respectivement 167.60 ± 3.62 , 61.30 ± 3.88 et 92.86 ± 7.76 mSv pour le Kodak 9000® (longueur scan fixe 3.7 cm) et l'iCAT Next Generation® longueur scan 6 cm et 13 cm.

Une revue de la littérature récente²⁸ souligne que les scanners nouvelle génération avec des protocoles low-dose sont désormais sur le marché et, que pour certains modèles et paramétrages optimisés, la radiation peut être même inférieure à certains CBCT²⁹. Les

auteurs concluent qu'il est donc important de penser, non plus en termes de CBCT versus TDM, mais en termes de modèles et paramètres choisis.

Conclusions de la littérature

Les résultats des études dosimétriques mettent en évidence que la dose efficace obtenue avec le CBCT est, dans l'ensemble, supérieure à celle obtenue avec la radiographie conventionnelle (panoramique et téléradiographies) et inférieure à celle obtenue avec le scanner. Toutefois, la dose peut varier considérablement selon les protocoles retenus.

Tableau 3: Etudes comparatives dosimétriques CBCT (FOV large ou medium) vs TDM

Auteur, Année	CBCT		TDM	
	Appareil	Dose efficace μSv	Appareil	Dose efficace μSv
Suomalainen ²¹ 2008	3D Accuitomo® Promax® scanora 3D®	27-166 674 91	GE 4-slice et 16 slice Soredex®	685-1410
Loubele ²⁰ 2008	Accuitomo 3D® New-tom 3G® i-CAT®	13 30 82	Somatom 4 slice Somatom 16 slice M×8000 ID	1110 447-995 541-1160
Ludlow ²³ 2008	i-CAT NG® Ilumina ® CB Mercuray® New-tom 3G®	74 98-498 569-407 68	Somaton 64-slice	860
Silva ²⁴ 2008	New cat 9000® I-CAT®	56.2 61.1	Somaton sensation 64	429.7
Qu ²⁵ 2011	NewTom 9000® DCT Pro®	Max: 41.8-125.8 Mand: 86.7-180.5 Les 2: 94.9-249.1	GE 8-slice Max, mand ou les 2 mâchoires	Max: 506.7 Mand: 829.9 Les 2:1066.1
Jeong ²² 2012	AZ3000CT® KaVo 3D eXaM I® Implagraphy ®	332.4 111.6 83.09	SomatoSensation 10 Somatom Emotion 6	425.84 199.38
Deman ²⁶ 2014	Kodak 9000® I-CAT NG® 6cm I-CAT NG® 13cm	167.60 ± 3.62mSv 61.30 ± 3.88mSv 92.86 ± 7.76 mSv	MDCT	20.7 <u>mGy</u> (dose d'entrée)
Hoffman ²⁹ 2014	3D Acuitomo 170® KaVo 3D eXam® Pax Zenith 3D® Pax Reve 3D® Picasso Trio®	Surface osseuse 3.41mSv 0.16 0.13 0.48 0.03	Somato Sensation 10® SomatomSensation 64® SOMATOM Definition Flash®	Surface osseuse 2.00 mSv 1.09 0.88

II.4. Comparaison des performances techniques CBCT versus TDM

En 2009, un rapport de la HAS évaluant le CBCT concluait « bien que la qualité de l'image soit difficile à définir et quantifier et que son estimation reste subjective, les études soulignent que le CBCT a une résolution spatiale et une fiabilité qui semble comparable au scanner pour explorer des structures denses tel l'os ou les dents et pour permettre d'identifier des fractures, kystes ou lésions osseuses, corps étrangers, à l'intérieur de son champ de vue. Il ne permet pas par contre la mesure réelle des densités des parties molles ».

« La variation des paramètres entraîne des différences significatives dans la qualité de l'image. Il est donc important de pouvoir sélectionner différents paramètres sur un même appareil, aussi raisonnablement bas que possible, afin de minimiser la dose délivrée au patient tout en ayant une qualité d'image suffisante pour l'application sélectionnée ».

Une étude récente³¹ a comparé la dose d'irradiation, la résolution, le bruit et la qualité d'image, in vitro et ex-vivo, obtenues avec le CBCT et le scanner (mode standard et haute résolution) pour la partie médiane de la face. Ainsi, en se basant sur 3 protocoles : dose standard (≈ 24 mGy), dose après protocole de réduction des doses (≈ 9 mGy), et low-dose (≈ 4 mGy), les résultats ont montré que les scores de qualité d'image ne différaient pas à des doses standards (CBCT, 3.4; MDCT, 3.3-3.5; $p > 0.05$). Par contre, la qualité d'image était supérieure avec le CBCT pour les protocoles dose réduite et low-dose (dose réduite, 3.2 vs. 2.8; low dose, 3.0 vs. 2.3; $p < 0.001$). Avec le protocole « low-dose », la qualité d'image était donc supérieure et la résolution était comparable au scanner tandis qu'avec des expositions plus élevées, la qualité d'image était comparable mais la résolution était meilleure avec le CBCT.

Pour la planification de la chirurgie orthognathique et son évaluation, la précision du modèle 3D est un prérequis incontournable. L'impact des méthodes d'imagerie et des paramètres associés, sur la précision de l'image, a été évalué pour la mandibule. Une étude³² récente a eu recours à un logiciel (données DICOM transférées en fichier SRL avec logiciel ImpactView 4.4, CT Imaging® puis analyse par logiciel interactif GOM Inspect®) afin d'éviter les erreurs humaines manuelles, pour évaluer les déviations linéaires dans les 3 sens de l'espace, avec différents protocoles pour le scanner et le CBCT.

Pour le scanner, la précision augmentait significativement avec un tube de voltage plus haut $p=0.062$ (vs. 80 kV), $p= 0.604$ (vs. 100 kV) et $p=0.408$ (vs. 140 kV) ; avec une déviation moyenne de 0.106 mm avec un paramètre de 140 kw. Pour le CBCT, la précision était identique avec les protocoles taille de voxel 0.3 mm ou 0.4 mm. Aucune différence significative n'était observée entre les différents protocoles de scanner retenus et le CBCT protocole 0.2 voxel.

Les auteurs³² ont conclu que le scanner et le CBCT fournissaient une image précise, les déviations moyennes observées étant estimées à des dixièmes de millimètres.

La précision peut aussi varier selon les logiciels retenus. Dans une étude³³ concernant l'utilisation du CBCT pour planifier une ostéotomie Le Fort I, les mesures linéaires réelles en 3D obtenues avec le logiciel Vitrea® étaient plus précises que les mesures réalisées sur les images de reconstruction 3D obtenues avec le logiciel OsiriX®.

Conclusions de la littérature

Les études montrent que les performances techniques du CBCT en termes de fiabilité et reproductibilité des mesures sont satisfaisantes.

La qualité d'image varie avec les protocoles retenus mais, dans l'ensemble, la précision des mesures obtenues avec le CBCT est comparable à celle du scanner.

II.4. Analyse céphalométrique 3D

L'analyse céphalométrique tridimensionnelle s'appuie sur des données volumiques issues des acquisitions de la tomodensitométrie. Les modalités d'analyse sont nombreuses, basées sur des références anatomiques précisément identifiées³⁴. En France, l'analyse de Treil³⁵ propose un modèle 3D à 14 points liés à l'axe trigéminal, permettant une description complète de l'anatomie cranio-faciale avec trois niveaux d'analyse: la charpente ou l'enveloppe maxillo-faciale complète, les bases osseuses et les arcades alvéolo-dentaires.

Une revue³⁶ a évalué la céphalométrie 3D en analysant la fiabilité et la reproductibilité pour identifier des points de repère céphalométriques et pour déterminer les références anatomiques les plus fréquemment utilisées, avec le CBCT. Dans l'ensemble, la fiabilité était bonne pour identifier les références céphalométriques 3D cependant les auteurs de la revue ont souligné la grande variabilité concernant les paramètres d'acquisition de l'image, le logiciel, le type de visualisation et les références anatomiques.

Parmi les repères, ceux de la ligne sagittale médiane et les repères dentaires avaient la meilleure fiabilité tandis que ceux sur le condyle et les points porion (Po) et orbital (Or) avaient la plus basse fiabilité. Le point S devait être marqué sur les vues multiplanaires lors de la reconstruction 3D. Les auteurs ont conclu par ailleurs que des études supplémentaires étaient nécessaires pour évaluer les points de repères des tissus mous.

Un système de mesures, reproductible et fiable, à partir de points de référence spécifiques est donc nécessaire. A ce jour, 2 méthodes de sélection des points de référence sont identifiées, une basée sur la reconstruction 3D, une basée sur les sections multiplanaires.

Une autre revue systématique³⁷ a souligné la nécessité de développer un protocole unique d'identification de points de référence avec une liste validée de points de références qui pourrait aider à déterminer les mesures linéaires, angulaires et de proportions pour la chirurgie orthognathique.

En vue d'une analyse céphalométrique, la précision du CBCT a été comparée avec celle du scanner (tableau 4). Les études³⁸⁻³⁹ ont mis en évidence que les performances techniques étaient comparables pour l'identification des points de repère.

Tableau 4: Etudes comparatives analyse céphalométrique CBCT vs TDM

Auteur/année	Méthode	Résultats
Meldenick ³⁸ 2011	MDCT vs CBCT 11 points de référence 1 crane 3 examinateurs Déviation standard mm	Accuitomo 3D@: 0.51 mm pour axe x, 0.43 mm pour axe y, 0.31 mm pour axe z 3D exam: 0.72 mm axe x, 0.64 mm axe y, 0.34 mm axe z SOMATOM Sensation 64@: 0.31 mm axe x, 0.69 mm axe y, 0.31 mm axe z
Olewski ³⁹ 2013	Low-dose MDCT vs CBCT 24 points de référence 10 cranes 2 examinateurs Distance moyenne mm	Intraobs: 1.761 mm pour low-dose MDCT 1.395 mm pour CBCT Interobs : 2.072 mm pour low-dose MDCT 1.745 mm pour CBCT

Conclusions de la littérature

L'identification des points de référence pour l'analyse céphalométrique 3D est fiable et comparable entre le CBCT et le scanner. Cependant, les protocoles d'acquisition de l'image, les logiciels et les méthodes de sélection des points diffèrent et des données complémentaires sont nécessaires pour valider une méthode standardisée.

Recommandation 8

Grade C	Pour l'évaluation pré et postopératoire des tissus squelettiques du massif facial, le CBCT peut être recommandé à la place du scanner, si le protocole retenu permet une irradiation inférieure à ce dernier.
----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Recommandation 9

AE	Pour une évaluation cervico-cranio-faciale, les experts recommandent l'utilisation du scanner si le champ d'acquisition du CBCT n'est pas suffisant pour fournir toutes les informations utiles.
-----------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Recommandation 10

Grade C

L'analyse céphalométrique 3D peut-être recommandée pour préciser les dysmorphoses cranio-faciales ; cependant à ce jour, aucune méthode standardisée n'est validée.

III. Quels examens d'imagerie pour les tissus dentaires ?

Désormais, afin d'intégrer l'image de la denture avec les images des tissus mous et squelettiques, le recours à un modèle virtuel est préconisé. Ce dernier peut être obtenu par la numérisation du modèle en plâtre avec le CBCT ou avec un scanner laser 3D ou bien le modèle virtuel peut être obtenu par une prise d'empreinte avec un scanner laser 3D intraoral¹.

Des revues systématiques⁴⁰⁻⁴² ont évalué les performances techniques du modèle 3D de la denture en termes de précision et fiabilité des mesures.

Une première revue⁴⁰ a comparé les mesures linéaires obtenues sur un modèle en plâtre versus modèle virtuel avec différents types d'acquisition (scanner laser et CBCT) et différents points de référence.

Les résultats ont mis en évidence une bonne reproductibilité intra et inter-observateur et une bonne validité du modèle 3D pour les mesures linéaires basées sur 2 points de références, quelle que soit la technique employée. Les mesures obtenues sur le modèle virtuel étaient comparables aux mesures obtenues sur le modèle en plâtre.

Une revue ultérieure⁴² a confirmé ces données en comparant des mesures réalisées sur des modèles numériques obtenus par scanner laser avec des mesures directement obtenues sur des modèles en plâtre (manuellement ou à l'aide d'un pied-à-coulisse numérique). Quelques différences mineures non significatives ont été observées dans certaines études ; les auteurs⁴² ont conclu que la validité des 2 types de mesures était comparable.

Conclusions de la littérature

Les résultats de revues systématiques ont souligné que les mesures réalisées sur les modèles numériques obtenus par scanner laser ou par CBCT, sont comparables avec celles obtenues directement sur des modèles en plâtre.

Recommandation 11

Grade C

Pour l'évaluation des tissus dentaires, les modèles numériques obtenus avec le CBCT (sur modèle en plâtre) ou avec un scanner laser (sur patient ou modèle en plâtre) peuvent être recommandés, en alternative au modèle en plâtre conventionnel.

IV. Quels examens d'imagerie pour l'ATM ?

Les rapports entre la chirurgie orthognathique et l'ATM concernent 3 domaines⁴³ :

- Les pathologies condyliennes responsables des dysmorphoses dento-maxillaires ;
- Le retentissement condylien de la chirurgie orthognathique ;
- Les méthodes de repositionnement condylien en chirurgie orthognathique.

Des recommandations françaises de bonne pratique de la SFSCMFCO⁴⁴ ont rappelé en 2016 que l'imagerie (TDM /IRM) pouvait être indiquée pour évaluer les troubles intra-articulaires.

L'IRM peut être préconisée pour l'analyse des tissus mous (évaluation de la position discale, capsule, cavité synoviale, ligament) et l'imagerie TDM pour l'analyse des changements au niveau des tissus osseux (lames sous-chondrales, ostéocondensation, géodes, déformation sous-chondrale). Le CBCT peut se substituer au scanner pour l'analyse des tissus osseux.

Des études comparatives⁴⁵⁻⁴⁶ ont montré que la précision du CBCT est comparable à celle du scanner pour détecter les changements osseux⁴⁵ (sensibilité basse et spécificité haute pour les 2 modalités) ainsi que pour analyser la morphologie condylienne⁴⁵⁻⁴⁶ (pas de différence significative entre les 2 modalités, $p > 0.68$).

En ce qui concerne l'irradiation, les doses rapportées⁴⁷⁻⁴⁹ pour un examen bilatéral des ATM varient considérablement (de 1 à 10) selon le champ de vue utilisé et les protocoles retenus (tableau 5). De même, la dose effective est comparable avec celle du scanner lorsque l'examen CBCT n'est pas optimisé⁴⁷.

Tableau 5 : Etudes comparatives dosimétriques CBCT vs TDM pour l'ATM

Auteur, Année	CBCT		TDM	
	Appareil	Dose efficace mSv	Appareil	Dose efficace mSv
Kadesjö ⁴⁷ 2015	Promax® 3D	Avant optimisation 184 Après optimisation 92	Lightspeed VCT®	Avant optimisation 113 Après optimisation 124
Lukat ⁴⁸ 2013	Hitachi CB Mercuray® Large FOV (22 cm) versus 2 x Kodak 9000® (15 cm)	223.6±1.1 vs 20.5±1.3		
Librizzi ⁴⁹ 2011	Hitachi CB Mercuray® Large FOV (22) ou 2 x FOV (15)	550		

Une revue récente⁵⁰ a synthétisé les données de la littérature concernant les apports du CBCT pour évaluer l'ATM :

- Calcul du volume et de la surface du condyle mandibulaire ;
- Amélioration de l'analyse qualitative de la surface condylienne et détection de la forme du condyle ;
- Amélioration de la précision des mesures linéaires du condyle (largeur, longueur et hauteur) ;
- Mise en évidence dans les cas d'asymétries, d'une fréquente symétrie des condyles mais d'une différence dans l'espace articulaire entre les 2 côtés ;
- Définition de la position du condyle dans la fosse glénoïde.

Toutefois, le CBCT a quelques limites : la présence d'artéfacts liée aux mouvements accidentels du patient durant l'acquisition et le fait qu'il ne permet pas d'estimer la densité osseuse contrairement au scanner. La qualité d'image et la résolution de contraste ne permettent pas l'analyse des tissus mous tels que le disque articulaire.

Enfin, dans des cas de suspicion d'hypercondylie caractérisée par une face asymétrique, avec une anatomie mandibulaire et une occlusion modifiées, la scintigraphie osseuse est recommandée pour appréhender la croissance et l'activité du cartilage condylien et préciser la nature active ou inactive de la pathologie afin d'orienter la prise en charge⁵¹. Des auteurs⁵² privilégient le recours à la scintigraphie SPECT (single photon emission computed tomography) pour évaluer le degré de métabolisme osseux corrélé à la pathologie condylienne.

Après la chirurgie orthognathique, l'imagerie peut être utile pour évaluer les effets potentiels de la chirurgie sur l'articulation. Des études récentes ont décrit l'utilisation de l'IRM pour évaluer la position du disque⁵³ ainsi que le recours au scanner⁵⁴ ou au CBCT⁵⁵ pour évaluer, après une ostéotomie mandibulaire sagittale bilatérale, des changements survenus au niveau du condyle, largeur, longueur, angle de déclinaison objectivés par des mesures pré et postopératoires ainsi que des changements de position du condyle dans les plans coronal, axial et sagittal.

Durant l'intervention, le repositionnement adéquat du condyle est essentiel pour éviter des échecs dans la correction squelettique et pour éviter la survenue de DTM. Le repositionnement du condyle après une ostéotomie bilatérale sagittale de la mandibule est accompli classiquement par le positionnement manuel ou à l'aide de plaques de positionnement, fabriquées conventionnellement ou par ordinateur⁵⁶.

Des techniques de repositionnement assistées par ordinateur ont été décrites dans la littérature⁵⁷⁻⁵⁸. Plus récemment, le développement de la simulation voire de la navigation avec le transfert d'un plan virtuel à la salle de chirurgie (voir chapitres suivants) a permis de guider le positionnement du condyle lors de l'acte opératoire.

Conclusions de la littérature

Le recours à l'IRM est préconisé pour l'analyse des tissus mous (évaluation de la position discale notamment) et l'imagerie CBCT, moins irradiante que le scanner, est préconisée pour l'analyse des anomalies osseuses, de l'asymétrie, des changements au niveau du condyle et de l'espace articulaire.

Les données de la littérature mettent en évidence que le CBCT permet de préciser les mesures linéaires et volumétriques du condyle, sa qualité de surface et sa forme ainsi que sa position dans la fosse mandibulaire, en pré et postopératoire.

Peu de données concernent le positionnement du condyle lors de l'acte opératoire

Recommandation 12

Grade C

Pour l'évaluation préopératoire ainsi que pour l'évaluation post-opératoire des pathologies osseuses de l'ATM et des changements de volume, de surface, de forme et de position du condyle dans la fosse mandibulaire, le CBCT peut être recommandé à la place du scanner, si le protocole retenu permet une irradiation inférieure à ce dernier.

L'IRM est recommandée pour l'évaluation de la position discale.

Les experts recommandent le recours à une imagerie métabolique (scintigraphie osseuse ou TEP scan) en présence d'une asymétrie mandibulaire évolutive (AE).

V. Quelle imagerie pour les voies aériennes supérieures?

La chirurgie orthognathique (expansion maxillaire, avancée maxillo-mandibulaire) peut être une alternative thérapeutique efficace pour les patients avec un SAHOS non corrigé par les autres traitements préconisés (autres chirurgies, PCC, OAM)⁵⁹⁻⁶⁰.

Le recours à l'IRM est proposé pour évaluer les structures des voies aériennes chez l'enfant âgé de moins de 15 ans, avec un SAHOS. Une revue de la littérature⁶¹ a évalué l'efficacité de l'IRM pour analyser les caractéristiques anatomiques des zones de section transversale des voies aériennes supérieures adjacentes aux amygdales et végétations, les caractéristiques volumétriques des amygdales et végétations et les paramètres des tissus mous et osseux maxillo-faciaux. En sélectionnant 3 études comparatives, une méta-analyse a pu être réalisée ; elle a mis en évidence l'efficacité de l'IRM pour évaluer les différences dans les données volumétriques des voies aériennes entre les enfants avec un SAHOS et les enfants

sans SAHOS (différence moyenne : -0.56 cm ; 95% CI: -1.05 to -0.07). Toutefois, les auteurs⁶¹ ont conclu que des études supplémentaires étaient nécessaires pour valider la fiabilité de l'IRM.

Le CBCT a été également introduit pour appréhender la mesure de la zone de constriction par l'acquisition de volumes et de coupes pour évaluer les dimensions des voies aériennes. Les études rapportent son utilisation en présence du SAHOS ainsi que pour évaluer le traitement chirurgical du SAHOS et son impact sur les dimensions des voies aériennes. Les données d'une revue systématique récente⁶² ont montré que l'analyse des caractéristiques anatomiques prédominantes des voies aériennes supérieures avec le scanner ou l'IRM, mettaient en évidence que l'aire de section transversale minimum était plus petite chez les patients avec un SAHOS.

Des données ont mis en évidence la fiabilité et la précision de l'imagerie 3D. Ainsi, en 2011, une revue systématique⁶³ intégrant 6 études concernant les performances techniques du CBCT, a mis en évidence que ce dernier était précis et fiable mais que des limites étaient encore observées : influence de la position de la langue, morphologie de la mandibule, évaluation 3D longitudinale et de la section transversale des voies aériennes supérieures par le CBCT et définition 3D par le CBCT des limites anatomiques des voies aériennes.

Une revue systématique ultérieure⁶⁴ a analysé en 2016 la fiabilité de l'évaluation des voies aériennes avec le CBCT et a conclu que la reproductibilité inter et intra-observateur était modérée à excellente, avec des résultats plus fiables pour les données volumétriques que pour les zones de section transversales. Les auteurs ont toutefois souligné que des études complémentaires étaient nécessaires pour évaluer l'intégralité des protocoles.

Enfin, le recours au CBCT ou à l'IRM apporte des informations qualitatives et quantitatives nécessaires à l'évaluation des résultats de la chirurgie orthognathique⁶⁵. Ainsi, les études évaluent les changements des dimensions des voies aériennes supérieures (aire de section transversale minimum et volume) à l'aide de mesures obtenues avec les CBCT/TDM et l'IRM.

Conclusions de la littérature

Le recours à l'imagerie 3D (TDM/CBCT) ou à l'IRM apporte des informations qualitatives et quantitatives nécessaires à l'évaluation des voies aériennes supérieures, avant et après une chirurgie orthognathique. Les performances techniques du CBCT en termes de précision et fiabilité des mesures sont satisfaisantes.

Des études supplémentaires sont nécessaires pour obtenir un modèle validé 3D des voies aériennes avec le CBCT.

Recommandation 13

Grade C	Le recours au CBCT (moins irradiant que le scanner) et à l'IRM (à séquence volumique) est recommandé pour évaluer les dimensions des voies aériennes supérieures (aire de section transversale minimum et volume), avant et après la chirurgie orthognathique et plus particulièrement la chirurgie du SAHOS.
----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

VI. Quels examens d'imagerie pour localiser les structures nerveuses ?

Une étude récente in vitro⁶⁶ a évalué la précision des mesures linéaires obtenues avec le CBCT (FOV 13 cm, 120 kV, 7 mA, temps exposition 20s, résolution taille voxel 0.2 ×0.2 ×0.2 mm) versus TDM, afin de localiser le canal mandibulaire avant de planifier une ostéotomie sagittale. Les résultats obtenus ont mis en évidence une fiabilité élevée pour les 2 techniques (ICC : 0.923 à 0.99) et aucune différence significative n'a été observée entre les 2 types de mesures linéaires obtenues.

Des études prospectives⁶⁷⁻⁶⁸ ont mis en évidence la fiabilité du CBCT en pré et peropératoire pour préciser la localisation du nerf alvéolaire inférieur durant une ostéotomie sagittale.

Une étude⁶⁷ incluant 220 patients, a montré que les images préopératoires obtenues avec le CBCT permettaient d'obtenir des mesures linéaires, de tracer le trajet du nerf alvéolaire inférieur et de prédire l'attachement du paquet vasculonerveux au niveau du segment proximal de la mandibule durant la chirurgie. Ces données préopératoires ont permis aux chirurgiens d'évaluer la position du nerf par rapport au bord inférieur et à la face vestibulaire de la mandibule ainsi que de planifier si nécessaire, à l'aide d'un instrument spécifique, la libération des structures nerveuses de la mandibule (108 zones).

L'autre étude⁶⁸ a comparé la localisation du nerf alvéolaire inférieur basée, dans 1 groupe (n=10) sur une évaluation pré et peropératoire avec l'imagerie CBCT et, dans un groupe contrôle (n=10) sur une évaluation subjective avec des tests physiques sensoriels au niveau de la lèvre inférieure et du menton. A 6 mois post-opératoire, les résultats n'ont pas montré de différence significative entre les 2 groupes. Les auteurs ont conclu que le recours au CBCT était un moyen efficace de réduire les complications sensibles.

Recommandation 14

Grade C	Afin d'évaluer avec précision la position du nerf alvéolaire inférieur voire son adhérence possible à la corticale externe, le CBCT peut être recommandé en préopératoire pour des ostéotomies sagittales mandibulaires.
----------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Techniques de fusion 3D des images acquises

I. Modèle de tête virtuel : fusion des 3 types de données (dentaires, osseuses et parties molles)

La fusion de données 2D issues de la photographie ou de modèles en plâtre numérisés avec les analyses céphalométriques issues des téléradiographies est encore utilisée pour prédire et simuler les évolutions anatomiques et morphologiques des patients.

Cette technique présente des limites et des méthodes de fusion 3D se sont développées avec simultanément deux ou trois des éléments : situation squelettique, occlusion et apparence.

Ainsi, à partir des 3 types de données acquises, 4 types de fusion peuvent être réalisées¹:

- Fusion des images du squelette facial et de la denture : reconstruction CBCT/TDM et modèle dentaire virtuel ;
- Fusion de la surface des tissus mous et du squelette facial : photographie 3D avec téléradiographies de face et de profil, fusion photographies 2D et données CBCT ou TDM (technique encore utilisée car facile, précise et peu coûteuse), fusion photographie 3D ou laser scanner de surface 3D avec reconstruction CBCT ou TDM ;
- Fusion de la surface des tissus mous et de la denture : fusion des données 3D de la surface des tissus mous avec modèle dentaire digital ;
- Fusion des images du squelette facial, de la surface des tissus mous et de la denture intégrant donc les 3 types de données 3D pour créer un modèle virtuel de la face 3D.

Aujourd'hui, la superposition d'images 3D est utilisée pour la simulation et la planification d'une chirurgie orthognathique, selon différentes techniques basées sur l'enregistrement de structures anatomiques et la fusion automatisée d'images à l'aide d'algorithmes informatiques mathématiques.

Différentes méthodes de fusion sont utilisées: méthodes se basant sur la sélection de points, de plans ou de surfaces repères et méthode se basant sur la reconnaissance des niveaux de gris entre les voxels de deux acquisitions à recalculer. De plus, on peut également classer les méthodes selon leur procédure, automatisée ou non, et selon le type de logiciels utilisé. Une revue de la littérature⁶⁹, en 2015, a décrit et synthétisé les avantages et inconvénients de ces techniques (tableau 6).

Cette revue a conclu que bien que les techniques de superposition 3D soient plus fiables et reproductibles que les techniques 2D, la précision de ces techniques reste un sujet de controverse. La plupart des limites de ces techniques de superposition résident dans les erreurs d'identification des points de repère et les erreurs de logiciels/matériel informatique.

Elles exigent aussi beaucoup de temps et les auteurs stipulent que des développements techniques doivent améliorer l'efficacité, la précision et la rapidité de ces méthodes.

Tableau 6: Avantages et inconvénients des techniques de fusion

Méthodes	Applications cliniques	Avantages	Inconvénients
<p>Basée sur la sélection de points Enregistrement assisté par un logiciel de points arbitrairement sélectionnés</p> <p>Basée sur la théorie de l'information et les algorithmes mathématiques : superposition assistée par logiciel des structures enregistrées - Méthode ICP basée sur la superposition de surfaces (table de correspondance de couleurs) - Méthode basée sur les voxels : enregistrement basé sur le principe de reconnaissance de chaque voxel</p>	<p>- Évaluation de la croissance cranio-faciale et/ou des structures cranio-faciales avant et après chirurgie</p> <p>- Quantification et évaluation visuelle des changements des tissus durs et mous entre les 2 scans, à partir des points de repère ou des structures enregistrés ; par ex, évaluation des changements tissus mous étage moyen de la face, condyles, rami, menton, maxillaires et dentition ; quantification des dimensions transversales et des inclinaisons axiales de la denture, déplacement du ramus et évaluation des voies aériennes en 3D</p>	<p>Évaluations 3D par fusion de 2 images 3D chez patients en phase de croissance et/ou durant le traitement</p> <p>Observation des structures bilatérales telles que le condylion en taille réelle, image 3D plus précise et reproductible que l'image 2D céphalo conventionnelle</p> <p>Evaluation des changements plus réaliste</p> <p>Analyse quantitative visuelle compréhensive</p> <p>Analyse CBCT assistée par logiciel</p> <p>Suppression des erreurs humaines durant la phase de superposition automatisée</p> <p>Création d'un modèle de surface 3D précis et mesures précises avec reconstruction multiplanaire et codage couleur des images*</p> <p>Bonne Reproductibilité* Erreurs minimales* Création set-up sans biais pour superposition*</p>	<p>Consommation de temps et travail informatique intense</p> <p>Possibilité de différence des mesures de l'image CBCT selon cadrage des fenêtres, définition du plan et nombre et taille des sections</p> <p>Réalité légèrement abaissée avec l'utilisation de mesures basées sur des seuils</p> <p>Avec la procédure de segmentation, possible impact sur les mesures cliniques</p> <p>Erreurs d'identification et d'enregistrement des points de référence</p>

*objet de controverse dans la littérature

Une deuxième revue systématique⁷⁰ a évalué la faisabilité et la précision des techniques de superposition pour créer un modèle dentaire virtuel dans des conditions statiques. Cette revue a également souligné la grande variété d'approches ; l'analyse comparative n'a pu être que descriptive avec une synthèse des données actuelles.

Parmi les études retenues, différentes combinaisons de fusion ont été analysées (tableau 7) intégrant 2 voire 3 types de données squelettiques, tissus mous, et dentaires ; les études identifiées avec les 3 types de données squelettiques, tissus mous et dentaires concernaient uniquement l'orthodontie et l'implantologie. Selon la technique utilisée, la superposition des

données 3D se faisait avec les points (correspondance de points de repère), des surfaces ou la fusion des voxels (régions sélectionnées manuellement pour ces 2 dernières techniques).

Les auteurs ont conclu que la fusion des 3 types de données pour créer un modèle de tête virtuelle avec sa denture, dans des conditions statiques, était une technique faisable ayant un intérêt important pour l'évaluation clinique préopératoire, la planification du traitement et le suivi post-opératoire.

Cette revue a également conclu que:

- des études supplémentaires, avec des tailles de population plus importantes, sont nécessaires afin de valider la précision de ces techniques.
- des recherches doivent se poursuivre afin d'obtenir une tête en 4 dimensions avec des données dynamiques dans des conditions réelles et afin de capturer les données digitales pour le modèle virtuel en une seule étape pour augmenter la précision.

Des données ultérieures⁷¹⁻⁷² ont confirmé la faisabilité et la précision des techniques de fusion intégrant les données squelettiques issues du CBCT et les données dentaires issues d'un scanner intraoral⁷¹ ou d'un modèle virtuel⁷², pour des mesures linéaires de distance.

Tableau 7: Techniques de fusion

Revue systématique de Joda 2015				
Etudes	N Patient	Méthodes	Superposition	Résultats
Joda 2014	1	CBCT + 3D photographie + IOS	Surface-based	Faisabilité, précision, 3D stat
Noguchi 2007	1	2D céphalo + laser scan + DLM	Point-based	Faisabilité 3D statique
Ayoub 2007		MDCT + 3D photographie	Surface-based	Faisabilité 3D statique
Jayaratne 2012	6	CBCT + 3D photographie	Surface-based	Faisabilité, précision, 3D stat
Kau 2011	29	CBCT + 3D photographie	Surface-based	Faisabilité 3D statique
Meehan 2003	2	CBCT+ Laser scan	Voxel –based	Faisabilité 3D statique
Naudi 2013	1	CBCT +3D photographie	Surface-based	Précision, 3D statique
Schendel 2013	14	CBCT+ 3D photographie	Surface-based	Précision, 3D statique
Swennen 2009	23	CBCT+ 2D photographie	Voxel –based	Faisabilité 3D statique
Xin 2013	1	CBCT+ 3D photographie	Surface-based	Faisabilité 3D statique
	1			
Katase 2013	10	CBCT+ DLM	Surface-based	Faisabilité 3D statique
Lee 2012	1	CBCT+ IOS	Surface-based	Faisabilité 3D statique
Lin 2013	14	CBCT+ DLM	Surface-based	Précision, 3D statique
Nkenke Popat 2004	1	MDCT+ DLM	Point-based	Précision, 3D statique
Galantucci 2013	3	3D photographie + DLM	Surface-based	Faisabilité 3D statique
Rangel 2008	1	3D photographie + DLM	Surface-based	Faisabilité 3D statique
Rosati 2010	11	3D photographie + DLM	Point-based	Faisabilité, précision, 3D stat
Etudes complémentaires				
De Waard 2016	4	CBCT+ IOS	Surface-based	Faisabilité, précision, 3D stat
Yang 2015	5	MDCT+ DLM	Surface-based	Faisabilité, précision, 3D stat
Rangel 2013	10	MDCT+ DLM	Surface-based	Faisabilité, précision, 3D stat

IOS : intraoral optical scanning ; DLM : digital laboratory modeling; MDCT: Multi detector computed tomography

Conclusions de la littérature

Les études sur la précision et la faisabilité des techniques de fusion 3D concernent en majorité la fusion des données squelettiques issues d'un CBCT et des données dentaires issues d'un modèle numérique et la fusion des données squelettiques issues d'un CBCT et des données issues de la photographie 3D.

Dans tous les cas, les études ont conclu sur la faisabilité des techniques.

La fusion des données squelettiques issues d'un CBCT et des données dentaires issues d'un modèle numérique apporte des informations précises et fiables.

Afin de construire le modèle numérique facial d'un patient, dans des conditions statiques, la faisabilité des techniques de fusion des différentes données squelettiques CBCT/TDM, dentaires (modèle en plâtre digital par CBCT/TDM ou scanner laser de surface ; empreinte par scanner laser de surface) et des tissus mous (photographie 3D ou stéréophotogrammétrie), a été mise en évidence dans des études préliminaires.

La précision de ces différentes techniques de fusion, hétérogènes, doit toutefois être validée par des études complémentaires et l'efficacité et la rapidité de ces méthodes nécessitent d'être améliorées.

Recommandation 15

Grade C

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.

II. ATM : Fusion des images IRM et CBCT/TDM

La fusion de 2 images obtenues avec l'IRM et le scanner a été préconisée en médecine pour évaluer simultanément les tissus mous et durs. Récemment, ces techniques ont été introduites dans le champ de la dentisterie et de la chirurgie maxillo-faciale.

Une revue systématique⁷³ récente a évalué la faisabilité et l'applicabilité de l'enregistrement d'images IRM avec des images TDM (2 études) ou CBCT (1 étude) pour évaluer l'ATM (tableau 8).

Cette revue a conclu que les données étaient encore rares et que l'applicabilité technique des techniques d'enregistrement et de fusion des images IRM et TDM/CBCT nécessitait des études supplémentaires afin d'évaluer leur précision et leur faisabilité pour l'analyse de l'ATM.

Tableau 8: revue systématique fusion IRM/TDM/CBCT⁷³

Etudes Année	Objectifs	N Patient ATM	Méthodes	Résultats
Al Saleh 2015	Evaluer les modèles d'enregistrement et la fiabilité de l'évaluation de la position du disque et de la pathologie osseuse	10 20	i-CAT® CBCT + Siemens® 1.5 T MRI méthode extrinsèque basée sur points (5 marqueurs de repère radio-opaques) méthode intrinsèque (Mutual information-based registration, 3 observateurs). • Logiciel Mirada®	Méthode extrinsèque : non précise et fiable Méthode intrinsèque: précise et reproductible
Dai 2012	Fusionner coupes sagittales 2D de IRM et TDM de l'ATM et visualiser l'image de fusion des 2 techniques	1 1	Philips® scanner hélicoïdal multi barrettes+ Signa® 1.5 T MRI Superposition manuelle coupes 2D sagittales • Logiciel Photoshop®	Non précise
Lin 2008	Visualiser le modèle 3D de l'ATM	1 2	GE® scanner hélicoïdal multi barrettes + Signa® 1.5 T MRI (14 marqueurs de repère radio-opaques). • Dicom logiciel Works® V1.3.5	Faisable mais non précise

Recommandation 16

Grade C	A ce jour, la fusion des 2 types d'images IRM et CBCT/TDM ne saurait être recommandée pour évaluer l'ATM.
----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------

Planification / Simulation 3D de la chirurgie

La planification conventionnelle pour une chirurgie orthognathique est basée sur une analyse céphalométrique effectuée avec la téléradiographie 2D, une analyse faciale clinique et une analyse des modèles dentaires en plâtre montés sur articulateur avec la fabrication de gouttières en résine acrylique.

La planification a évolué progressivement en utilisant des programmes informatiques dédiés à l'analyse céphalométrique 2D des téléradiographies puis récemment, des techniques d'assistance par ordinateur ont intégré la planification à l'aide de logiciels avec une analyse céphalométrique 3D des tissus durs et mous, la simulation des mouvements chirurgicaux souhaités et le transfert de la planification virtuelle au bloc chirurgical soit par des gouttières occlusales obtenues par impression 3D, soit par des dispositifs médicaux sur mesure (guides de coupe, guides de perçage, guides de positionnement, plaques d'ostéosynthèse sur mesure) soit encore par des systèmes de navigation chirurgicale.

La procédure conventionnelle est la plupart du temps satisfaisante mais a certains inconvénients : temps nécessaire, complexité et parfois erreurs liées à la multiplicité des étapes. Les nouvelles technologies 3D permettent de simuler différents plans de traitement, prédire les résultats et facilitent le transfert du plan de traitement simulé dans les 3 sens de l'espace.

La simulation des objectifs de traitement est un complément du bilan et une option d'aide à la décision qui prend en compte les prévisions de croissance chez l'enfant et qui objective la faisabilité du traitement chez l'adulte.

Une fois que l'analyse céphalométrique du modèle numérique 3D est réalisée, une planification préliminaire peut être effectuée par le chirurgien qui va l'utiliser pour simuler la chirurgie dans un environnement 3D grâce à un logiciel dédié⁷⁴. Les logiciels actuels les plus utilisés sont Mimics® (Materialise), SimPlant OMS® (Materialise), Dolphin Imaging® (Dolphin Imaging and Management Solutions) et Maxilim® (Medicim).

Ces programmes informatiques de simulation ont plusieurs fonctions : segmentation de l'image DICOM pour sa conversion en un modèle 3D en identifiant et délimitant les structures anatomiques intéressantes de l'image TDM, l'analyse céphalométrique 3D, la simulation des ostéotomies, la relocalisation des segments osseux selon les mouvements chirurgicaux planifiés et la prédiction des changements au niveau des tissus mous⁷⁴. Les logiciels peuvent aussi représenter la texture de l'information obtenue par la photographie 2D ou 3D de la surface de la peau enregistrée en TDM en utilisant un algorithme de fusion de surface qui reproduit les changements des tissus mous par une photographie de couleur réaliste⁷⁴.

Afin de mieux visualiser les données (axes x, y, z) rapportées dans les chapitres suivants, un schéma est proposé en annexe (p 52).

I. Bénéfices thérapeutiques de la simulation 3D

L'apport de la simulation est particulièrement intéressant pour les cas complexes et les asymétries faciales.

Des études récentes⁷⁵⁻⁷⁶ ont montré que, dans ces cas, le recours à la simulation assistée par ordinateur (i-CAT® CBCT ; logiciels SimPlant OMS® or Dolphin Imaging®) a conduit à modifier des plans de traitement 2D (tableau 9).

Ainsi, pour 30 patients avec des malocclusions classe III et une asymétrie faciale, les plans de traitement ont été modifiés dans 93% des cas⁷⁵. Des modifications significatives ont été observées : changements linéaires au niveau des points de référence en direction mésio-latérale (axe x) et corrections angulaires au niveau pitch (axe x), yaw (axe y) et roll (axe z) ($1.88 \pm 0.32^\circ$) ainsi qu'au niveau de l'inclinaison du ramus ($3.37 \pm 3.21^\circ$) pour les cas d'asymétries. Voir en annexe schéma des axes.

Dans des cas de fente labio-palatine⁷⁶, le plan de traitement initial 2D a été modifié pour 83.3% des patients après simulation 3D. Les ajustements concernaient la rotation autour de l'axe y dans 63.3% des cas et la ligne médiane dans 36.7% des cas. Des « collisions » (interférences) sévères osseuses observées dans le transfert 2D 3D (46.7% des cas) ont pu être corrigées durant la simulation.

Tableau 9 : Etudes plan simulé 2D vs 3D

Auteur Année	N patients pathologies	Résultats 2D vs 3D		
		Paramètres étudiés	Changements angulaires	Différence Moyenne
Ho 2017	30 Classe III + Asymmetries	Axe x (Pitch)	13.50 (4.04) vs 15.23 (4.03)	1.73 (0.41) p=0.00
		Axe z (Roll)	1.43 (1.17) vs 0.37 (0.41)	1.06 (0.23) p=0.01
		Axe y (Yaw)	0.00 (0.00) vs 1.88 (1.73)	1.88 (0.32) p=0.00
		Différence inclinaison ramus frontal	4.15 (3.06) vs 0.78 (1.47)	3.37 (3.21) p=0.00
		Axe x	Changements linéaires 1.11 - 1.62 mm	
Lonic 2016	30 Fente labiale et/ou palatine	Yaw Ligne médiane Roll Génioplastie Pitch	Différence moyenne 3.0±3.1° (0 à 12°) 1.0±1.7mm (0 à 6.5mm) 1.1±2.0° (0 à 7.5°) 1.0±2.1mm (0 à 6.5mm) 0.3±1.0° (0 à 4°)	

Conclusions de la littérature

Des études ont montré que le transfert d'un plan de traitement 2D dans un environnement 3D conduit à corriger les informations sur les structures osseuses en termes de position, orientation et forme.

Les résultats montrent que la simulation 3D présente un intérêt dans des cas complexes d'asymétrie et d'anomalies type fentes labiopalatines en permettant de modifier le plan de traitement établi conventionnellement.

II. Performances techniques

II.1. Simulation au niveau des tissus durs

Une première revue systématique⁷⁷ a analysé 7 études⁷⁸⁻⁸⁴, ayant un minimum de 5 patients et comparant la planification chirurgicale virtuelle avec les résultats chirurgicaux. La présentation des résultats était hétérogène ; toutefois, en se basant sur un critère de succès estimé, dans 6 études, à une différence maximale de 2 mm entre les résultats obtenus après chirurgie versus données de la planification virtuelle, la synthèse des résultats a mis en évidence que la planification virtuelle était une méthode précise et reproductible (tableau 10). Les auteurs soulignaient toutefois que des études indépendantes étaient nécessaires pour mieux valider la précision de la planification virtuelle.

Tableau 10: revue systématique⁷⁷ planification AO

Auteur Année	N patients	Chirurgies	Résultats
Marchetti ⁸² 2006 Xia ⁸¹ 2007 Turcker ⁸³ 2010 Mazzoni ⁷⁸ 2010 Centenero ⁸⁰ 2012 Zinser ⁸⁴ 2012 Hsu ⁷⁹ 2013	149	1 SAHOS 10 BSSO 10 Le Fort I 131 Max-mand 27 (8) Génioplastie (avec guide)	Critère succès : <2mm 125/133

Une autre revue systématique⁸⁵ a évalué la précision de la planification assistée par ordinateur en se basant sur 9 études prospectives dont 7 publiées en 2013 (tableau 11). Le niveau méthodologique de ces études était faible ou moyen avec des risques de biais et des méthodes d'évaluation de la précision hétérogènes (concordance des mesures linéaires et angulaires planifiées et post-chirurgicales, concordance en % ou degré d'accord ICC).

Différents protocoles ont été utilisés. Certains auteurs ont privilégié le scanner pour mieux identifier les tissus mous, pour une moindre distorsion de l'image avec les éléments métalliques et pour améliorer la rétrusion mandibulaire avec la position allongée et l'enregistrement en relation centrée^{79-81, 84, 86} ou la position naturelle de la tête par un

gyroscope^{79,81}. Toutefois, l'effet de gravité sur les tissus mous ne peut être corrigé et l'irradiation demeure supérieure à celle du CBCT.

Le désavantage du CBCT lié à la présence des bagues dentaires métalliques a été réduit dans certains protocoles et selon les études, par le scanner du modèle en plâtre, par le scanner intraoral des arcades, le scanner de l'enregistrement occlusal avec des points de référence et par une triple procédure de scanner.

Quatre études^{79, 87-88} ont fusionné l'image TDM et l'image des arcades pour créer un modèle 3D numérique afin d'augmenter sa précision et réduire les erreurs. L'utilisation du modèle numérique 3D à l'aide d'un logiciel de simulation permettait plusieurs analyses céphalométriques en 3D, la visualisation de points de contact et de structures anatomiques avant la chirurgie et la création d'une gouttière virtuelle.

Les résultats ont mis en évidence une bonne précision de la translation, <1.2mm au niveau du maxillaire (verticale) et <1.1mm au niveau de la mandibule (sagittale) et de la rotation, <1.5°mm au niveau maxillaire (pitch) et < 1.8° au niveau mandibulaire (pitch).

Tableau 11 : Revue systématique planification AO⁸⁵

Etudes (N patients)	Protocoles	Logiciels Simulation chirurgie/ gouttières	Précision mouvements de translation/rotation	Temps de planification
Xia 2007 (5) Sun 2013 (15) Hernandes-Alfaro 2013 (6) Li 2013 (6) Hsu 2013 (65) Centenero 2012 (16) Zinser 2013 (28) Shebab 2013 (6) de Riu 2014 (20)	Imagerie 3D CBCT : 3 E MDCT: 4E CBCT+MDCT:2E Imagerie arcades scanner modèles plâtre : 4E Scan enregistrement mordu / intraoral : 3 E CBCT triple scan : 1 E MDCT sans brackets : 1E Simulation chirurgicale : Fusion MDCT+denture: 5E MDCT seul : 3E MDCT+scan occlusion : 1E Simulation +gouttière virtuelle : 6E	CASS® SimPlant Pro OMS 10.1® Amira® VisCAM® SurgiCase CMF 5.0® Unigraphics NX 7.5® VoXim® Maxilim®	Au niveau maxillaire: sagittal <1 mm (0.14–1), vertical <1.2 mm (0.23–1.2), transversal <0.8 mm (0.04–0.8); Au niveau mandibulaire sagittal <1.1 mm (0.13–1.1), vertical <0.6 mm (0.33–0.6), transversal <0.8 mm (0.17–0.8); Au niveau mentonnier : sagittal <1 mm (0.3–1), vertical <0.6 mm (0.25–0.6), transversal <0.8 mm (0.76–0.8) Au niveau du condyle mand : sagittal 0.18 mm, vertical 0.13 mm, transversal 0.07 mm	1E : 255 mn 1E : 145 mn (115–155) 7E : NR

NR: non rapporté ; E : étude

Les résultats de cette revue systématique suggèrent que la planification assistée par ordinateur est fiable pour la chirurgie orthognathique maxillaire et mandibulaire ainsi que pour le placement du menton et du condyle mandibulaire à l'aide des gouttières chirurgicales ; par contre, l'analyse des tissus mous n'est pas fiable. Bien que guère évalué, le temps de planification semble réduit (155 à 255 min) par rapport à la planification conventionnelle.

Les auteurs ont conclu que la planification assistée par ordinateur offrait de grands avantages par rapport à la planification conventionnelle ; toutefois, afin de mieux évaluer la précision chirurgicale et les bénéfices pour le patient et la procédure chirurgicale, des études contrôlées randomisées de qualité sont nécessaires.

Les auteurs ont également conclu que pour mieux valider un protocole choisi parmi les différents protocoles existants, des études multicentriques sont nécessaires afin d'évaluer la précision de la chirurgie, à l'aveugle, en superposant les images CBCT pré et postopératoires et si possible, en recourant aux mesures par un logiciel validant l'analyse.

Des études récentes⁸⁹⁻⁹² ont confirmé la fiabilité et la précision des mesures linéaires et angulaires obtenues avec la planification assistée par ordinateur (tableau 12).

Dans une étude⁹⁰ comparant les résultats obtenus avec la méthode classique de planification et la méthode assistée par ordinateur, les mesures des tissus durs étaient comparables alors que les mesures prédictives des tissus mous étaient significativement plus précises avec la PAO. Le temps de planification était plus élevé avec la PAO avec une courbe d'apprentissage. Les auteurs concluaient que ces différents aspects, temps d'apprentissage, coût du matériel et des logiciels devait être pris en compte dans le choix du type de planification. Dans une étude prospective⁹³ comparant le temps requis avec une simulation standard versus simulation 3D, une réduction significative du temps de planification, d'environ 31%, a été mise en évidence. Les auteurs ont conclu que ce temps peut être encore plus réduit, jusqu'à 91% en éliminant certaines étapes, prise d'empreintes, montage et arc facial puis préparation du modèle.

L'apport de la planification 3D a été évalué au regard de la précision du positionnement et de l'expansion transversale ainsi que du positionnement du segment mentonnier lors de la génioplastie⁹². La comparaison de 3 mesures linéaires et d'orientation (rotation) planifiées avec les résultats post-opératoires ainsi que l'influence de la segmentation, ont été analysées. Une précision élevée pour les mesures linéaires et une augmentation au niveau du pitch pour la rotation principalement au niveau maxillaire, ont été observées. La segmentation n'avait pas d'influence sur le positionnement maxillaire mais il existait un mouvement postérieur pour le repositionnement inférieur du maxillaire. Un manque d'expansion était observé au niveau du maxillaire segmenté quel que soit le degré d'expansion.

Tableau 12 : Etudes planification assistée par ordinateur tissus durs

Auteur Année	N patients chirurgie	Techniques	Précision des mesures	Temps de planification
Zhang ⁸⁹ 2016	30 max-mand	Modèle 3D : MDCT+STL Simulation: Dolphin Imaging 11.7 Premium® Transfert: impression 3D mini-plaques	Modèle virtuel pré-op vs post-op Différence globale mesures linéaires : 0.81 mm ; 0.71 mm au max et 0.91 mm à la mandibule Différence globale mesures angulaires : 0.95°	
Van Hemelen ⁹⁰ 2015	31 (2D) vs 35 (3D) 46 max-mand 17 mand 3 max + génioplastie	Technique classique (céphalo 2D, modèle plâtre, gouttières labo) Vs Tête virtuelle 3 CBCT+photo virtuelle Maxilim software® Gouttières fabrication virtuelle	2D versus 3D Tissus durs Direction horizontale (profondeur) : 1.71 mm vs 1.42 mm Direction verticale (H) : 1.69 mm vs 1.44 mm DM globale: 0.297 mm pour profondeur (p= 0.194) et 0.259 mm pour hauteur (p= 0.178) Tissus mous Direction horizontale (profondeur) : 2.29 mm vs 1.48 mm Direction verticale (H) : 2.07 mm vs 1.46 mm DM globale: 0.810 mm pour profondeur (p= 0.002) et 0.609 mm pour H (p= 0.05)	Temps de planification 2D vs 3D 20 min vs 38 min Pour 3D diminue avec expérience
Kim ⁹¹ 2015	12 Max	Modèle conventionnel Vs Modèle 3D MDCT Pas de gouttière intermédiaire Visualization Toolkit®	Modèle conventionnel vs modèle virtuel DM pour les 3 axes x y, z : 0.27 ± 0.19, 0.41 ± 0.42 et 0.32 ± 0.18 mm pour axes x, y et z soit DM absolue 0.75 ± 0.51 mm PAO vs résultats CAO DM pour les 3 axes x, y, z : 0.33 ± 0.29, 0.47 ± 0.52 et 0.30 ± 0.22 mm pour axes x, y et z Soit DM absolue 0.78 ± 0.52 mm	
Stokbro ⁹² 2016	30 max-mand (BM) 13 BM 4BM +4 genio 11BM+3 max segmentation 2BM+genio+3 max segmentation	Protocole CCAS materialise® CBCT Dolphin 3D Gouttières fabrication virtuelle	Pré-op vs post-op Différences mesures linéaires <0.5mm Pitch <2mm pour 2 patients DS au niveau max: p< 0.006 Différence au niveau max expansion -1.5mm avec pente 1.8mm ; pour max non segmenté moyenne erreur mesure linéaire 0.01mm p<0.001 Repositionnement inf max : mouvement post 2mm significatif p< 0.018 Repositionnement inf et sup max: Segmentation vs no segmentation : NS Génioplastie : DS jusqu'à 4.5 mm	
Wrzosek ⁹³ 2016	41 max-mand dont 21 complexes avec asymétrie	Simulation classique vs 3D		7.45h versus 5.10h p<0.001

STL: stéréolithographie, H: hauteur; DS: difference significative; DM: difference moyenne

II.2. Simulation 3D au niveau des tissus mous

La céphalométrie 2D et la photométrie 2D sont encore largement utilisées pour prédire la réponse des tissus mous. Dans le traitement chirurgical des classes II et III, par ostéotomie maxillo-mandibulaire, une étude⁹⁴ a montré que la céphalométrie était encore une méthode standard pour évaluer et prédire les résultats dans des cas « de routine » mais que sa précision était améliorée par la photométrie 2D spécialement pour les patients classe II. De même, une étude⁹⁵ concernant les tracés céphalométriques réalisés à la main, a confirmé que ces derniers étaient fiables et précis pour prédire le profil cutané. L'évaluation subjective des résultats, chez 30 patients, était corrélée aux données objectives simulées.

Des études⁹⁶⁻⁹⁷ ont évalué plus précisément la fiabilité et la précision de la simulation 3D au niveau des tissus mous (tableau 13)

Les prédictions des changements au niveau des tissus mous qui accompagnent les changements des tissus durs et qui traduisent les résultats esthétiques attendus par le patient, ont une importance clé dans la planification et la décision thérapeutique. Des algorithmes et logiciels de simulation ont été introduits. Les prédictions sont satisfaisantes mais, selon les études, la prédiction au niveau de la lèvre⁹⁷, des narines et de la zone paranasale⁹⁸ peut être améliorée.

Tableau 13 : précision simulation 3D des tissus mous

Auteur Année	N patients chirurgie	Techniques	Précision des mesures virtuelles pré-op et post-op
Abe 2015	15 Asymétries 15 classe II 15 classe III	Logiciel OrthoForecast® 37 évaluateurs	Différence moyenne pré et post-op Groupe asymétrie: 3.1 ±1.4 mm pour images frontales, 2.9 ±0.8 mm pour latérales Classe II : 2.7±0.9 and 2.1±1.6 mm Classe III : 1.8 ±1.2 and 1.7±1.0 mm
Liebrechts 2015	60 Max-	CBCT Maxilim® mass tensor model (MTM) algorithme	Différence absolue globale 0.81 ± 0.22 mm Erreurs de simulation face, lèvres sup, inf et menton : 0.8 mm, 1.2 mm, 1.4 mm et 1.1 mm, Précision (erreur moyenne absolue ≤2 mm) pour la face entière, la lèvre sup, la lèvre inf et région sous- mentonnaire : 100%, 93%, 90% et 95%,
Ullah 2015	13 Le Fort I max	3dMD Vultus®	ICC : 0.87 (zone paranasale droite) à 0.99 (narine droite) Différence moyenne <3mm pour toutes les zones anatomiques (<i>p</i> < 0.001), 0.65 mm pour menton ; 1.17 pour lèvre sup

Conclusions de la littérature

Des études prospectives ont rapporté des résultats favorables, avec une fiabilité satisfaisante et une bonne précision des changements des tissus durs, après la simulation 3D. Comparée avec la planification classique, le temps de planification semble réduit.

En ce qui concerne les tissus mous, la simulation de quelques zones (lèvre, (para)nasale) peut être améliorée.

A ce jour, des études supplémentaires contrôlées randomisées et indépendantes, sont nécessaires afin de mieux évaluer et comparer les différents protocoles proposés.

Recommandation 17

Grade C

La simulation 3D peut être recommandée, en alternative à la simulation conventionnelle, pour planifier les déplacements osseux, plus particulièrement dans des cas complexes d'asymétries ou d'anomalies type fentes labiopalatines. A ce jour, la simulation 3D des résultats morphologiques (tissus mous) n'est pas totalement fiable.

Il est difficile, à ce jour, de recommander plus spécifiquement une méthode parmi les différents protocoles qui sont proposés.

III. Outils de transfert des données

Lorsque la simulation est réalisée, des outils nécessaires au transfert de la simulation au bloc opératoire peuvent être confectionnés selon différents procédés, d'imprimerie ou par usinage.

Selon les besoins, plusieurs éléments peuvent être confectionnés : gouttières de repositionnement⁹⁹, guides de coupe, de perçage ou de positionnement¹⁰⁰, plaques d'ostéosynthèse (ou implants) sur mesure, imprimées ou pré-conformées manuellement sur des modèles anatomiques imprimés¹⁰¹⁻¹⁰³.

Lorsque la simulation virtuelle et la confection des outils sont réalisées, la planification 3D est terminée.

III.1. Gouttières chirurgicales CFAO

Classiquement, le modèle conventionnel en plâtre permet d'établir l'occlusion et de fabriquer précisément les gouttières chirurgicales.

La planification virtuelle peut être une alternative pour dessiner et fabriquer par ordinateur les gouttières chirurgicales sans le modèle conventionnel qui exige plus de temps avec moins de précision.

Ainsi, après conception virtuelle des gouttières à l'aide d'un logiciel de CAO, les fichiers sont transférés pour leur fabrication par procédé d'imprimerie¹⁰⁴ ou par usinage.

Des études *in vivo* ont évalué la précision des gouttières CFAO (tableau 14). Dans l'une d'entre elles¹⁰⁵, la précision des gouttières obtenues par ordinateur a été comparée avec celle des gouttières confectionnées conventionnellement. Les résultats ont montré que la technique virtuelle était fiable et précise. Dans une étude comparative prospective¹⁰⁶, les résultats post-opératoires comparés aux données préopératoires ont montré que la fabrication des gouttières assistées par ordinateur pour le transfert chirurgical était plus précise que la méthode de fabrication classique ou que la méthode de navigation sans gouttières.

Tableau 14: Etudes précision gouttières CFAO

Auteur Année	N patients chirurgie	Techniques	Résultats
Shaheen ¹⁰⁵ 2015	20 14 BSSO 6 BSSO +Le Fort I	MDCT (Siemens Somatom®)+ Optical scanner denture Activity 885; SmartOptics® PROPLAN software (Materialise®). 3-matic software (Materialise®) Objet Connex 350 printer (Stratasys®)	Virtual vs set-up conventionnel 3 points de référence Erreur moyenne absolue: 0.4mm (0.12-0.88)
Zinser ¹⁰⁶ 2013	30 BSSO G1: 8 G2:10 G3:12	G1: gouttières fabrication CAD/CAM Simplant Pro cristal® G2: navigation sans gouttière VectorVision,BrainLab® +interactive IGVD. I-planCMF® G3: conventionnel Simplant Pro cristal®	Pré-op-virtuel vs post-op G1 : <0.23 mm; p > .05 G2 : <0.61 mm, p < .05 G3 : <1.1 mm; p < .05

III.2. Système de repositionnement / mini-plaques et guides de coupe CFAO

A la place des systèmes décrits précédemment, strictement basés sur le repositionnement à l'aide de gouttières et suivis ultérieurement de l'ostéosynthèse conventionnelle, des systèmes incluant le repositionnement et l'ostéosynthèse dans le même temps, ont été proposés. Ainsi, le choix de la méthode de positionnement des segments maxillaires défini lors de la planification virtuelle du traitement peut faire appel à des mini-plaques sur mesure conçues par ordinateur et associées à l'utilisation de guides de coupe pour la réalisation de l'ostéotomie lors de la chirurgie.

Des études récentes¹⁰⁷⁻¹⁰⁹ (tableau 15) ont montré la faisabilité et la précision de l'utilisation de mini-plaques d'ostéosynthèse en titane conçues et fabriquées par ordinateur.

Des auteurs¹⁰⁷ précisent que les mini-plaques permettent le contrôle vertical de l'arcade dentaire supérieure et le placement approprié des condyles dans la fosse mandibulaire.

Cette technique est particulièrement utile dans les cas d'asymétries importantes avec une composante verticale marquée, dans les cas d'instabilité occlusale en période post-opératoire

que l'origine soit liée à la perte de dents ou à une chirurgie de première intention et enfin, dans des cas d'anomalies sévères difficiles à traiter par l'ostéosynthèse conventionnelle.

Une autre étude¹⁰⁸ a décrit une méthode basée sur l'utilisation des plaques de fixation osseuse pour guider le positionnement maxillaire ; ces plaques CFAO sont facilement placées grâce aux trous pré-forés dans les guides de coupe.

Selon les auteurs, cette méthode permet de contrôler les mouvements sagittaux, transversaux et verticaux du maxillaire comme prévu lors de la planification virtuelle préopératoire et évite ainsi des erreurs potentielles causées par l'autorotation de la mandibule.

Les auteurs soulignent également certains bénéfices : fiabilité de la technique pour le transfert de la planification préopératoire sans gouttières chirurgicales, facilité d'utilisation et réduction du temps chirurgical.

Les avantages de cette technique ont été également mis en évidence dans une autre étude¹⁰⁹ : positionnement du maxillaire indépendamment du condyle et de la mandibule, pas de nécessité de points de référence extraoraux et transfert précis du plan de traitement en 3D en une ostéotomie Le Fort I.

Tableau 15 : Etudes précision mini-plaques CFAO

Auteur Année	N patients chirurgie	Techniques	Résultats
Brunso ¹⁰⁷ 2016	6 5 max-mand 1 max	MDCT SimPlant Pro OMS software (Materialise Dental®) + Lava Scan ST scanner denture (3M ESPE) Mini plaques CAD-CAM PowerShape software (Delcam, machined from grade 5 titanium (Createch Medical®)	Pré-op-virtuel vs post-op 3D image (DS) Avancée max-mand <6mm Max: 0.14 mm (92% ≤1 mm) Mand: 0.34 mm (86% ≤1 mm) Avancée max-mand >10mm Max: 1.33 mm (66% ≤1 mm) Mand: 0.67 mm (73% ≤1 mm)
Mazzoni ¹⁰⁸ 2015	10 max	New Tom VGI® CBCTscanner Surgicase CMF 5.0 software (Materialise) Outils: CAD Rhino 4.0 software+ CAM EOSINT M270 system + eNlite Navigation System®	Pré-op-virtuel vs post-op (seuil <2mm) Precision : 100% : 7 patients 62% -93%: 3 patients
Kraeima ¹⁰⁹ 2016	3 BSSO +Le Fort I	CBCT i-CAT® + LavaTM® Oral Scanner (3M ESPE) Simplant® software Mini plaques CAD-CAM (Createch Medical SL®)	Pré-op-virtuel vs post-op au niveau denture max DS : 1.3 (1.4) mm

DS : déviation standard

Conclusions de la littérature

Classiquement, le modèle conventionnel en plâtre permet d'établir l'occlusion et de fabriquer les gouttières chirurgicales.

Les résultats de la littérature ont montré que la planification virtuelle peut être une alternative pour dessiner et fabriquer par ordinateur les gouttières chirurgicales sans modèle conventionnel.

Des études ont également mis en évidence la fiabilité et la précision d'autres outils CFAO, guides de coupe et /ou de perçage et mini-plaques d'ostéosynthèse.

Recommandation 18

Grade C

La confection des gouttières de repositionnement, assistée par ordinateur, peut être recommandée, en alternative à la confection avec le modèle conventionnel.

De même, l'utilisation de guides de coupe et/ou de perçage et de mini-plaques d'ostéosynthèse conçues et fabriquées par ordinateur peut être proposée en alternative aux techniques conventionnelles.

Navigation

Les données issues de la planification et de la simulation virtuelles 3D peuvent être transférées dans la salle d'opération en utilisant un guidage peropératoire pour mobiliser les segments osseux dans la position planifiée, à l'aide d'outils (par ex, gouttières ou guides de positionnement) ou directement grâce à la navigation en temps réel.

Plusieurs systèmes de navigation, optiques sont décrits dans la littérature⁷⁴ parmi lesquels Instatrak® (GE Health Care), Stealth Station® (Medtronic-Xomed), eNlite Navigation System® et Stryker Navigation System® (Stryker), Kolibri® et VectorVision® (BrainLab), VoNaviX® (IVS Solutions AG), AccuNavi 2.0® (Shangai UEG).

Des systèmes de navigation électromagnétiques sont également décrits dans la littérature et des données d'évaluation sur les bénéfices en termes de précision et de réduction du temps opératoire ont été rapportées pour un système (NDI) dans une étude préclinique¹¹⁰.

Plusieurs applications de la navigation ont été rapportées afin d'apporter un gain de précision pour les ostéotomies de Le Fort I, ostéotomies sagittales bilatérales¹¹¹⁻¹¹², pour le placement du condyle lors d'une ostéotomie asymétrique¹¹³⁻¹¹⁴.

La navigation chirurgicale exige plusieurs étapes⁷⁴ :

- Planification virtuelle du traitement à l'aide de logiciel de simulation chirurgicale à partir des données DICOM du scanner ou du CBCT.
- Transfert du plan de traitement virtuel dans la console de navigation.
- Mise en correspondance de l'imagerie du patient et de son anatomie (étape de calibrage).

Des points d'enregistrement/plans de référence osseux et dentaires identifiés sont indiqués sur l'image reconstruite en 3D en tant que points/plans de référence. Le repérage sur le patient peut s'effectuer à l'aide d'instruments calibrés (pointeurs) munis d'un système de repérage pour des points bien définis et/ou d'un balayage laser pour des surfaces anatomiques complexes.

Le système de navigation à partir de l'appariement des points de repère communs va recalculer l'image numérique et le patient.

- Durant l'intervention, le système de navigation va guider les instruments de coupe du chirurgien, eux-mêmes enregistrés et calibrés dans le système de navigation en fonction de la planification du trait d'ostéomie. Ce guidage intervient également pour assister le repositionnement des segments osseux selon la planification. Ce guidage est intermittent (à l'aide d'un pointeur sur le segment osseux) ou continu (guidage en temps réel avec système de repérage sur le fragment osseux) et poursuivi jusqu'à ce que les segments squelettiques atteignent leur position cible.

Des études prospectives¹¹⁵⁻¹¹⁸ ont évalué la précision des résultats obtenus avec la navigation en analysant la différence moyenne entre les déplacements planifiés en 3D et ceux obtenus avec la navigation sans gouttières intermédiaires (tableau 16).

En prenant pour critère de succès une différence maximale inférieure à 2mm entre les résultats post-opératoires et les simulations préopératoires, la précision des systèmes de navigation a été considérée comme satisfaisante.

Des améliorations sont toutefois encore nécessaires pour améliorer leur précision.

Les auteurs ont souligné l'intérêt de la méthode pour positionner le maxillaire indépendamment. En effet, la technique conventionnelle avec les gouttières occlusales ne peut contrôler la position verticale et horizontale du maxillaire en rapport avec la base squelettique, à cause de la mobilité de la mandibule dont le positionnement reste encore un challenge en chirurgie orthognathique.

En comparant la navigation sans gouttière à l'utilisation de gouttières CFAO et à l'utilisation de gouttières occlusales, une étude¹⁰⁶ (voir tableau 13 p 36) a toutefois montré que la technique avec des gouttières CFAO était la seule permettant de maintenir les condyles dans leur position centrée.

La durée opératoire est significativement augmentée avec la navigation¹¹⁷ mais cette augmentation de la durée d'intervention disparaît avec l'expérience.

Tableau 16 : études précision des techniques de navigation

Auteur Année	N patients chirurgie	Logiciel navigation Contrôle post-op	Résultats	Temps opératoire
Sun ¹¹⁵ 2014	17 max-mand Le Fort I	Kolibri Brainlab® CBCT à 6-10 sem	Mouvements Sagittal: 0.44± 0.35 mm p= .82 ; DM: 0.23mm Vertical : 0.50±0.35 mm p = .85 ; DM: 0.20mm Médio-latéral: 0.56±0.36 mm p= .81 ; DM : 0.14	NC
Li ¹¹⁶ 2014	5 Le Fort I /NC/BSSO	AccuNavi 2.0 MDCT / 6 points référence 3 plans à 3j	vertical: 0.72-1.12 p > .05 axial: 0.56-0.94 p > .05 Horizontal: 0.39-0.58 p>.05	181 mn
Zinser ¹¹⁷ 2013	16 Le Fort I	Brainab® VectorVision + IGVD CBCT/ I-plan CMF® Céphalométrie à 6 mois	Orthogonal-vertical <0.67 mm mediolateral<0.2 sagittal<0.37 mm intraobs ICC :0.82 interobs ICC: 0.79	4.8 h (60 mn de plus que chirurgie conventionnelle)

Mazzoni ¹¹ ⁸ 2010	10 NC	eNlite Navigation system® CBCT superposition	Erreur moyenne : 0.28-1.99mm <2mm : 86.5%	NC
--------------------------------------------	----------	--------------------------------------------------------	----------------------------------------------	----

BSSO, bilateral sagittal split osteotomy, CI, angle class I; CII, angle class II; CIII, angle classe III; VME: CI, angle class I; CII, angle classe II; CIII, angle class III; IGVD, interactive image-guided visualization display; DM: Difference Moyenne; NC: non communiqué

Conclusions de la littérature

La navigation en chirurgie orthognathique est fiable, relativement précise et les déplacements obtenus sont satisfaisants.

Cependant aucune donnée comparative ne permet d'affirmer sa supériorité en termes de bénéfices thérapeutiques (dont la réduction des complications) par rapport à la chirurgie conventionnelle.

Des études randomisées complémentaires sont nécessaires pour poursuivre une évaluation.

Recommandation 19

Grade C	<p>La chirurgie orthognathique assistée par ordinateur peut-être proposée, en alternative à la chirurgie conventionnelle.</p> <p>Il est toutefois recommandé de prendre en compte que des données complémentaires sont encore nécessaires pour en évaluer les bénéfices thérapeutiques.</p>
----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

SYNTHÈSE - TEXTE COURT

Les recommandations de bonne pratique (RBP) sont définies dans le champ de la santé comme « des propositions développées méthodiquement pour aider le praticien et le patient à rechercher les soins les plus appropriés dans des circonstances cliniques données ».

Les RBP sont des synthèses rigoureuses de l'état de l'art et des données de la science à un temps donné, décrites dans l'argumentaire scientifique. Elles ne sauraient dispenser le professionnel de santé de faire preuve de discernement dans sa prise en charge du patient, qui doit être celle qu'il estime la plus appropriée, en fonction de ses propres constatations et des préférences des patients.

Les RBP développées ci-dessous prennent en compte l'analyse de la littérature médicale jusqu'en janvier 2016. Elles devront être actualisées ultérieurement, à la lumière de données prospectives complémentaires.

Elles sont gradées (A, B, C) ou fondées sur un accord d'experts (AE) conformément à la méthode décrite en annexe I.

ACQUISITION D'IMAGES/EVALUATION

I. Quels examens d'imagerie pour évaluer les tissus mous de la face ?

Conclusions de la littérature

Plusieurs études ont analysé la précision et la fiabilité des techniques d'analyse 3D des tissus mous faciaux, en pré et post-opératoire. Les résultats ont montré que ces méthodes d'analyse, parmi lesquelles la stéréophotogrammétrie et le scanner laser de surface, sont précises et reproductibles.

Ces techniques présentent plusieurs avantages, rapidité de capture d'image, archivage possible, haute résolution et absence d'irradiation.

Recommandation 1

Grade C	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 d'asymétries, d'anomalies et dysmorphoses sévères.
----------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

II. Quels examens d'imagerie pour évaluer les tissus squelettiques ?

II.1. Imagerie 2D/3D

Conclusions de la littérature

Des recommandations américaines et européennes stipulent que la radiographie panoramique (ou orthopantomogramme) est l'examen de base pour évaluer l'âge dentaire, l'état et le développement des dents et des structures associées et dépister des anomalies dentaires, des problèmes d'éruption ou des pathologies. Si nécessaire, la radiographie intraorale (rétro-alvéolaire et/ou occlusale) peut être recommandée pour obtenir des informations complémentaires plus précises sur une zone dentaire ou alvéolaire.

La téléradiographie de profil en occlusion permet l'analyse des structures crâniennes, faciales, dentaires et rachidiennes, dans le sens antéropostérieur et le sens vertical, en minimisant les déformations ; elle ne donne cependant aucune information sur le sens transversal qui nécessite pour son analyse le recours à la téléradiographie en incidence axiale et frontale.

Pour surmonter les limites de l'imagerie 2D, des techniques d'imagerie 3D adaptées aux différents types de tissus ont été introduites pour obtenir des données détaillées et précises.

Les résultats des études dosimétriques mettent en évidence que la dose efficace obtenue avec le CBCT est, dans l'ensemble, supérieure à celle obtenue avec la radiographie conventionnelle (panoramique et téléradiographies) et inférieure à celle obtenue avec le scanner. Toutefois, la dose peut varier considérablement selon les protocoles retenus.

Les études montrent que les performances techniques du CBCT en termes de fiabilité et reproductibilité des mesures sont satisfaisantes.

La qualité d'image varie avec les protocoles retenus mais dans l'ensemble la précision des mesures obtenues avec le CBCT est comparable à celle obtenue avec le scanner.

Recommandation 2

Grade C	<p>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.</p> <p>Dans tous les cas, le principe ALADA doit être respecté (voir recommandation 4).</p>
----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Recommandation 3

AE	<p>Dans le cadre de la chirurgie orthognathique, les experts recommandent, au minimum, un bilan radiologique conventionnel en préopératoire puis en postopératoire dans la première semaine et à 6 mois-1 an. Des bilans intermédiaires peuvent être nécessaires en fonction de l'évolution clinique.</p>
-----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

II.2. Rappel des principes de radioprotection

Conclusions de la littérature

Les dispositions réglementaires françaises de radioprotection médicale et dentaire, actualisées en 2016, soulignent la nécessité de réduire l'exposition des patients par la suppression des examens d'imagerie non justifiés. Au-delà de ce principe de justification, afin de maintenir la dose reçue par le patient au niveau le plus faible raisonnablement possible, le principe d'optimisation doit s'appliquer lors du choix de l'équipement radiologique et lors de la réalisation de l'acte, tout en permettant d'atteindre l'objectif prévu.

Recommandation 4

Réglementaire	Au regard des principes de radioprotection, si le recours au CBCT/TDM est justifié par la nécessité d'obtenir des informations ne pouvant être apportées par la radiographie conventionnelle 2D moins irradiante, son utilisation devra être optimisée afin d'obtenir une dose d'irradiation aussi faible que possible et compatible avec la qualité d'image requise.
----------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Recommandation 5

Réglementaire	Tout chirurgien, utilisateur et responsable d'un équipement CBCT à son cabinet, doit se conformer aux obligations réglementaires concernant la formation requise, l'installation, les contrôles d'ambiance et contrôles techniques de radioprotection.
----------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Recommandation 6

Réglementaire	Lorsque le chirurgien adresse son patient à un radiologue pour l'examen CBCT/TDM, toutes les informations, issues de l'examen clinique et de l'anamnèse et justifiant l'examen, doivent être transmises. Quant au réalisateur de l'acte, il transmet au prescripteur les images réalisées, idéalement dans le format natif (DICOM), accompagnées d'un compte-rendu qui devra intégrer toutes les données d'imagerie, leur interprétation ainsi que l'information utile à l'estimation de la dose reçue par le patient. Ces données seront conservées dans le dossier du patient.
----------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Recommandation 7

AE	Les experts recommandent de transmettre au radiologue les informations suivantes : indication (diagnostic ou planification), type d'examen (conventionnel 2D, imagerie en coupes 3D), zone anatomique à étudier (limites du champ d'acquisition), inclusion des ATM et du nez, type d'occlusion (intercuspitation maximale (dents serrées), relation centrique (avec guide en bouche), dents desserrées), position de la tête et maintien du patient pour l'examen.
-----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

II.3. Données dosimétriques et performances techniques comparatives

Conclusions de la littérature

Pour la dosimétrie, les résultats des études mettent en évidence que la dose efficace obtenue avec le CBCT est, dans l'ensemble, supérieure à celle obtenue avec la radiographie conventionnelle (panoramique et téléradiographies) et inférieure à celle obtenue avec le scanner. Toutefois, la dose peut varier considérablement selon les protocoles retenus.

Pour les performances techniques, les études montrent que la fiabilité et la reproductibilité des mesures obtenues avec le CBCT sont satisfaisantes.

La qualité d'image varie avec les protocoles retenus mais dans l'ensemble la précision des mesures obtenues avec le CBCT est comparable à celle du scanner.

Pour l'analyse céphalométrique, l'identification des points de référence est fiable et comparable entre le CBCT et le scanner. Cependant, les protocoles d'acquisition de l'image, les logiciels et les méthodes de sélection des points diffèrent et des données complémentaires sont nécessaires pour valider une méthode standardisée.

Recommandation 8

Grade C	Pour l'évaluation pré et postopératoire des tissus squelettiques du massif facial, le CBCT peut être recommandé à la place du scanner, si le protocole retenu permet une irradiation inférieure à ce dernier.
----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Recommandation 9

AE	Pour une évaluation cervico-cranio-faciale, les experts recommandent l'utilisation du scanner si le champ d'acquisition du CBCT n'est pas suffisant pour fournir toutes les informations utiles.
-----------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Recommandation 10

Grade C	L'analyse céphalométrique 3D peut-être recommandée pour préciser les dysmorphoses crano-faciales ; cependant à ce jour, aucune méthode standardisée n'est validée.
----------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

III. Quels examens d'imagerie pour évaluer les tissus dentaires ?

Conclusions de la littérature

Les résultats de revues systématiques ont souligné que, les mesures réalisées sur les modèles numériques obtenus par scanner laser ou par CBCT, sont comparables avec celles obtenues directement sur des modèles en plâtre.

Recommandation 11

Grade C	Pour l'évaluation des tissus dentaires, les modèles numériques obtenus avec le CBCT (sur modèle en plâtre) ou avec un scanner laser (sur patient ou modèle en plâtre) peuvent être recommandés, en alternative au modèle en plâtre conventionnel.
----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

IV. Quels examens d'imagerie pour évaluer l'ATM ?

Conclusions de la littérature

Le recours à l'IRM est préconisé pour l'analyse des tissus mous (évaluation de la position discale) et l'imagerie CBCT, moins irradiante que le scanner, est préconisée pour l'analyse des défauts osseux, de l'asymétrie, des changements au niveau du condyle et de l'espace articulaire.

Les données de la littérature mettent en évidence que le CBCT permet de préciser les mesures linéaires et volumétriques du condyle, sa qualité de surface et sa forme ainsi que sa position dans la fosse mandibulaire, en pré et postopératoire.

Peu de données concernent le positionnement du condyle lors de l'acte opératoire

Recommandation 12

Grade C	<p>Pour l'évaluation préopératoire ainsi que pour l'évaluation post-opératoire des pathologies osseuses de l'ATM et des changements de volume, de surface, de forme et de position du condyle dans la fosse mandibulaire, le CBCT peut être recommandé à la place du scanner, si le protocole retenu permet une irradiation inférieure à ce dernier.</p> <p>L'IRM est recommandée pour l'évaluation de la position discale.</p> <p>Les experts recommandent le recours à une imagerie métabolique (scintigraphie osseuse ou TEP scan) en présence d'une asymétrie mandibulaire évolutive (AE).</p>
----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

V. Quels examens d'imagerie pour évaluer les voies aériennes supérieures?

Conclusions de la littérature

Le recours à l'imagerie 3D ou à l'IRM apporte des informations qualitatives et quantitatives nécessaires à l'évaluation des voies aériennes supérieures, avant et après une chirurgie

orthognathique. Les performances techniques du CBCT en termes de précision et fiabilité des mesures sont satisfaisantes.

Des études supplémentaires sont nécessaires pour obtenir un modèle validé 3D des voies aériennes avec le CBCT.

Recommandation 13

Grade C	Le recours au CBCT (moins irradiant que le scanner) et à l'IRM (à séquence volumique) est recommandé pour évaluer les dimensions des voies aériennes supérieures (aire de section transversale minimum et volume), avant et après la chirurgie orthognathique et plus particulièrement la chirurgie du SAHOS.
----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

VI. Quels examens d'imagerie pour évaluer les structures nerveuses ?

Recommandation 14

Grade C	Afin d'évaluer avec précision la position du nerf alvéolaire inférieur voire son adhérence possible à la corticale externe, le CBCT peut être recommandé en préopératoire pour des ostéotomies sagittales mandibulaires.
----------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Techniques de fusion 3D des images acquises

I. Modèle de tête virtuel : fusion des 3 types de données squelettiques, tissus mous et dentaires

Conclusions de la littérature

Les études sur la précision et la faisabilité des techniques de fusion 3D concernent en majorité la fusion des données squelettiques issues d'un CBCT et des données dentaires issues d'un modèle virtuel et la fusion des données squelettiques issues d'un CBCT et des données issues de la photographie 3D.

Dans tous les cas, les études ont conclu sur la faisabilité des techniques.

La fusion des données squelettiques issues d'un CBCT et des données dentaires issues d'un modèle virtuel apporte des informations précises et fiables.

Afin de construire le modèle numérique facial d'un patient, dans des conditions statiques, la faisabilité des techniques de fusion des différentes données squelettiques CBCT/TDM, dentaires (modèle en plâtre digital par CBCT/TDM ou scanner laser de surface ; empreinte par scanner laser de surface) et des tissus mous (photographie 3D ou stéréophotogrammétrie), a été mise en évidence dans des études préliminaires.

La précision de ces différentes techniques de fusion, hétérogènes, doit toutefois être validée par des études complémentaires et l'efficacité et la rapidité de ces méthodes nécessitent d'être améliorées.

Recommandation 15

Grade C	<p>La fusion des 3 types de données, squelettiques, dentaires et tissus mous 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.</p> <p>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.</p>
----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

II. ATM : Fusion des images IRM et CBCT/TDM

Recommandation 16

Grade C	<p>A ce jour, la fusion des 2 types d'images IRM et CBCT/TDM ne saurait être recommandée pour évaluer l'ATM.</p>
----------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Planification/Simulation 3D de la chirurgie

I. Bénéfices thérapeutiques

Conclusions de la littérature

Des études ont montré que le transfert d'un plan de traitement 2D dans un environnement 3D conduit à corriger les informations sur les structures osseuses en termes de position, orientation et forme.

Les résultats montrent que la simulation 3D présente un intérêt dans des cas complexes d'asymétrie et d'anomalies type fentes labiopalatines en permettant de modifier le plan de traitement établi conventionnellement.

II. Performances techniques

Conclusions de la littérature

Des études prospectives ont rapporté des résultats favorables, avec une fiabilité satisfaisante et une bonne précision des changements des tissus durs, après la simulation 3D. Comparée avec la planification classique, le temps de planification semble réduit.

En ce qui concerne les tissus mous, la simulation de quelques zones (lèvre, (para)nasale) peut être améliorée.

A ce jour, des études supplémentaires contrôlées randomisées et indépendantes, sont nécessaires afin de mieux évaluer et comparer les différents protocoles proposés.

Recommandation 17

Grade C	<p>La simulation 3D peut être recommandée, en alternative à la simulation conventionnelle, pour planifier les déplacements osseux, plus particulièrement dans des cas complexes d'asymétries ou d'anomalies type fentes labio-palatines. A ce jour, la simulation 3D des résultats morphologiques (tissus mous) n'est pas totalement fiable.</p> <p>Il est difficile, à ce jour, de recommander plus spécifiquement une méthode parmi les différents protocoles qui sont proposés.</p>
----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

III. Outils de transfert des données

Conclusions de la littérature

Classiquement, le modèle conventionnel en plâtre permet d'établir l'occlusion et de fabriquer précisément les gouttières chirurgicales.

Les résultats de la littérature ont montré que la planification virtuelle peut être une alternative pour dessiner et fabriquer par ordinateur les gouttières chirurgicales sans modèle conventionnel.

Des études ont également mis en évidence la fiabilité et la précision d'autres outils CFAO, guides de coupe et /ou de perçage et mini-plaques de fixation des segments osseux.

Recommandation 18

Grade C	<p>La confection des gouttières de repositionnement, assistée par ordinateur, peut être recommandée, en alternative à la confection avec le modèle conventionnel. De même, l'utilisation de guides de coupe et/ou de perçage et de mini-plaques d'ostéosynthèse conçus et fabriqués par ordinateur, peut être proposée en alternative aux techniques conventionnelles.</p>
----------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Conclusions de la littérature

La navigation en chirurgie orthognathique est fiable, relativement précise et les déplacements obtenus sont satisfaisants.

Cependant aucune donnée comparative ne permet d'affirmer sa supériorité en termes de bénéfices thérapeutiques (dont la réduction des complications) par rapport à la chirurgie conventionnelle.

Des études randomisées complémentaires sont nécessaires pour poursuivre une évaluation.

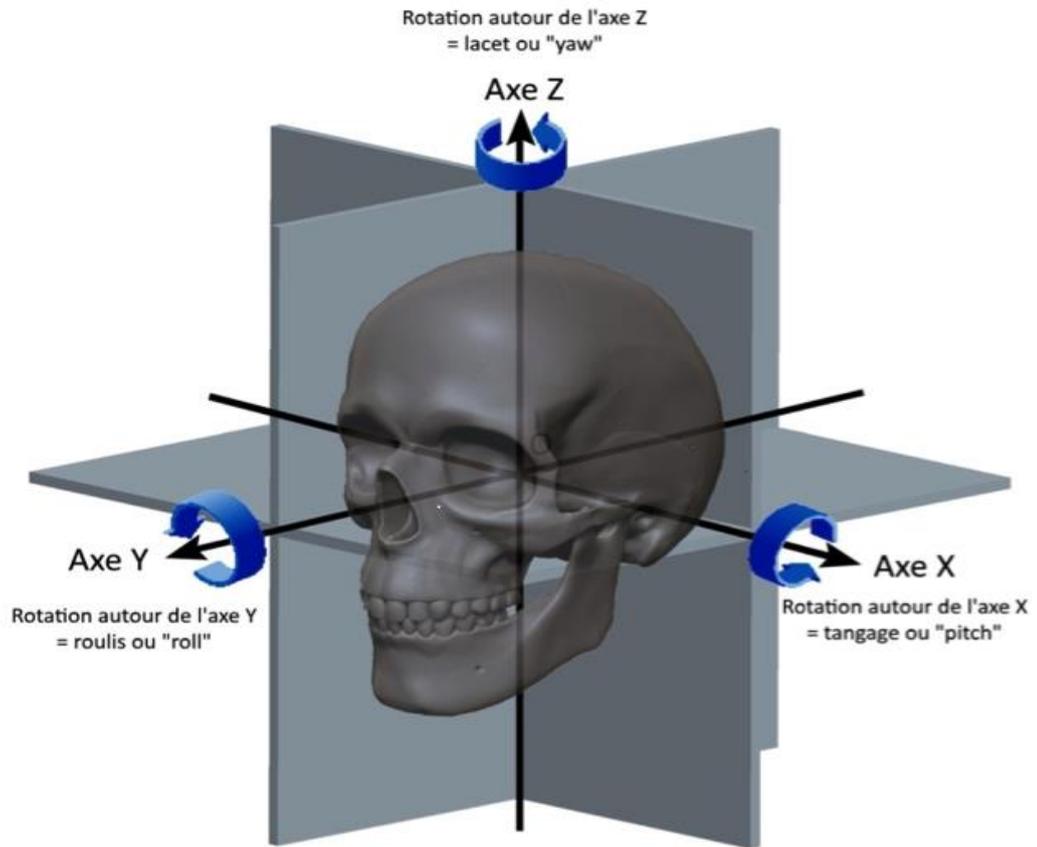
Recommandation 19

Grade C

La chirurgie orthognathique assistée par ordinateur peut-être proposée, en alternative à la chirurgie conventionnelle.

Il est toutefois recommandé de prendre en compte que des données complémentaires sont encore nécessaires pour en évaluer les bénéfices thérapeutiques.

ANNEXE I : SCHEMA



ANNEXE II : METHODE

La méthode d'élaboration des recommandations repose d'une part, sur l'analyse et la synthèse critique de la littérature médicale disponible, et, d'autre part sur l'avis de professionnels concernés par le thème des recommandations. La réalisation des recommandations s'est appuyée sur les étapes suivantes :

- **Recherche documentaire**

La stratégie de recherche par interrogation systématique des banques de données bibliographiques (PubMed, Cochrane), a été construite en utilisant, tous les termes (descripteurs et mots « libres ») combinés à l'aide des opérateurs « ET » « OU » :

Photogrammetry, Lasers, Magnetic Resonance Imaging, Cone Beam Computed Tomography, computed tomography, orthognathic surgery, orthognatic surgical procedures
Computer-assisted three-dimensional imaging; image fusion; superposition, surface-soft-tissue; facial skeleton; denture;
Cephalometry; cephalometric analysis; three-dimensional; two-dimensional; dentofacial deformity; craniomaxillofacial deformity; computer-aided surgical simulation; surgical planning; orthognathic surgery; planning sequence;
Soft tissue prediction; Virtual surgery, 3D simulation; CAD/CAM; Orthognathic surgery; Positioning device; cutting guide, 'Computer- Aided Manufacturing' Computer-Assisted Manufacturing', instrumentation
Mandibular osteotomy/methods, malocclusion/surgery, osteotomy, osteotomy sagittal split ramus, osteotomy maxillary, osteotomy, Le Fort., virtual surgical planning.

La recherche documentaire a concerné la période 2000 /janvier 2016 et a porté sur tous types d'études. Elle a été limitée aux publications en langue anglaise et française. Quelques études antérieures retrouvées dans la bibliographie d'articles ont été secondairement recherchées, voire sélectionnées.

Une recherche a également été effectuée sur les sites internet de différents organismes (agences d'évaluation, sociétés savantes nationales et internationales, etc.) de façon à identifier les rapports d'évaluation de technologie de santé ou les recommandations de bonne pratique publiés qui n'auraient pas été retrouvés lors de la recherche sur les bases automatisées de données bibliographiques.

- **Rédaction de l'argumentaire scientifique et des recommandations selon la méthodologie de la médecine fondée sur les preuves proposée par l'Anaes /HAS (Anaes : Les recommandations pour la pratique clinique – Base méthodologique pour leur réalisation en France –1999 ; Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations – 2000)**

La rédaction de l'argumentaire scientifique et des recommandations est basée sur une synthèse critique, concise et hiérarchisée de la littérature, avec mention des niveaux de preuve.

En l'absence de littérature, les recommandations ne sont pas gradées, mais fondées sur un accord professionnel (AE).

L'absence de gradation ne signifie pas que les recommandations ne sont pas pertinentes et utiles.

<u>Grade des recommandations</u>	
A	Preuve scientifique établie Fondée sur des études de fort niveau de preuve (niveau de preuve 1) : essais comparatifs randomisés de forte puissance et sans biais majeur ou méta-analyse, d'essais comparatifs randomisés, analyse de décision basée sur des études bien menées
B	Présomption scientifique Fondée sur une présomption scientifique fournie par des études de niveau intermédiaire de preuve (niveau de preuve 2), comme des essais comparatifs randomisés de faible puissance, des études comparatives non randomisées bien menées, des études de cohorte
C	Faible niveau de preuve Fondée sur des études de moindre niveau de preuve, comme des études cas témoins (niveau de preuve 3), des études rétrospectives, des séries de cas, des études comparatives comportant des biais importants (niveau de preuve 4).

- **Groupe de travail pluridisciplinaire** (orthodontie ODF et ODMF, stomatologie, chirurgie orale et chirurgie maxillo-faciale, radiologie) constitué de 12 professionnels.

Préalablement à la réunion de travail, chaque professionnel a reçu, par voie électronique, la version initiale de l'argumentaire scientifique et la liste de propositions de recommandations. Les commentaires reçus préalablement à la réunion ont été pris en compte et intégrés dans le document provisoire.

Lors de la réunion du 1 juin 2017, chaque membre a donné son avis sur le caractère approprié ou non de chacune des propositions de recommandations. Les points de vue basés sur l'expérience des participants ont été partagés et après discussion, un accord a été formalisé afin de finaliser les recommandations.

Après la réunion de travail, le document finalisé a été envoyé à tous les experts pour approbation avant validation.

- **Relecture externe**

Le texte a été soumis à un groupe de lecture pluridisciplinaire.

Les experts de ce groupe de lecture ont rendu un avis consultatif à l'aide d'un questionnaire (échelle numérique, graduée de 1 à 9 et une plage de commentaires libres en regard de chaque recommandation formulée) permettant d'apprécier la qualité méthodologique et la validité scientifique des recommandations, ainsi que la lisibilité, la faisabilité et l'applicabilité du texte.

La prise en compte des avis des relecteurs a été basée sur la méthode suivante :

- ✓ Pour les recommandations fondées sur un niveau de preuve élevé (grade A ou B) ou encore réglementation ou norme:
 - prise en compte des commentaires pertinents pour améliorer la forme ;
 - modifications sur le fond, s'il y a lieu, en fonction de nouvelles données fournies avec modification du grade de la recommandation si nécessaire.
- ✓ Pour les recommandations fondées sur un faible niveau de preuve (grade C) ou sur un accord d'experts :

- lorsque le groupe de lecture confirme le caractère approprié de la recommandation (≥ 90 % des réponses du groupe de lecture dans l'intervalle [5 – 9]), la recommandation est conservée et les commentaires pertinents sont pris en compte pour améliorer la forme ;
 - lorsque le groupe de lecture est plus largement indécis ou en désaccord avec la recommandation initiale (< 90 % des réponses du groupe de lecture dans l'intervalle [5 – 9]), le groupe de travail discute de la pertinence des commentaires et modifie s'il y a lieu la recommandation.
 -
- **Présentation des recommandations lors du congrès annuel de la SFSCMFCO en octobre 2017 puis diffusion.**

ANNEXE III : PARTICIPANTS

Promoteur

Société Française de Stomatologie, Chirurgie Maxillo-Faciale et Chirurgie Orale

Groupe de Pilotage

Professeur Pierre BOULETREAU. Coordination. Chirurgie Maxillo-Faciale. Lyon

Professeur Cyrille CHOSSEGROS. Président SFSCMFCO 2017

Docteur François CHEYNET. Chirurgie Maxillo-Faciale. Marseille

Docteur Françoise SAINT-PIERRE. Méthodologie. Paris

Sociétés Savantes participantes

Société Française de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-Faciale et de Chirurgie Orale

Société Française Médicale d'Orthopédie Dento-Maxillo-Faciale

Société Française d'Orthopédie Dento Faciale

Société Française de Chirurgie Orale

Société Française de Radiologie

Groupe de Travail

Docteur Patrick-Yves BLANCHARD. Orthopédie Dento-Maxillo-Faciale. Maisons Laffitte

Professeur Pierre BOULETREAU. Coordination. Chirurgie Maxillo-Faciale. Lyon

Docteur François CHEYNET. Chirurgie Maxillo-Faciale. Marseille

Docteur Jean-Baptiste KERBRAT. Orthopédie Dento-Maxillo-Faciale. Rouen

Docteur Aïcha LTAIEF-BOUDRIGUA. Radiologie. Lyon

Docteur Jean-Christophe LUTZ. Chirurgie Maxillo-Faciale. Strasbourg

Professeur Louis MAMAN. Chirurgie Orale. Paris

Docteur Monique RABERIN. Orthodontie. Lyon

Docteur Malika SAHLI-AMOR. Radiologie. Paris

Docteur Françoise SAINT-PIERRE. Méthodologie. Paris

Docteur Thomas SCHOUMAN. Chirurgie Maxillo-Faciale. Paris

Professeur Olivier TROST. Chirurgie Maxillo-Faciale. Rouen

Groupe de Lecture

Docteur Marie-José BOILEAU. Orthodontie. Villenave d'Ornon

Professeur Franck BOUTAULT. Chirurgie Maxillo-Faciale. Toulouse

Docteur Jean-Baptiste CHARRIER. Chirurgie Maxillo-Faciale. Paris

Docteur Jean-Michel FOUCART. Orthodontie-Imagerie. Paris

Professeur Dominique GOGA. Chirurgie Maxillo-Faciale. Tours

Professeur Patrick GOUDOT. Chirurgie Maxillo-Faciale. Paris

Docteur Alain-Pierre HUET. Orthodontie. Lyon

Docteur Michel LE GALL. Orthodontie. Aubagne

Docteur Masmour MAKAREMI. Orthodontie. Bergerac

Professeur Jacques MERCIER. Chirurgie Maxillo-Faciale. Nantes

Professeur Christophe MEYER. Chirurgie Maxillo-Faciale. Besançon

Docteur Christian PAULUS. Chirurgie Maxillo-Faciale. Bron

Docteur Claire PERNIER. Orthodontie. Caluire et Cuire

Docteur Jacques TREIL. Radiologie. Toulouse

Docteur Arthur Damien VAROQUAUX. Radiologie. Marseille

Déclarations d'intérêts : Docteur Jacques TREIL, consultant Carestream

ANNEXE IV: REFERENCES

1. Plooij JM, Maal TJ, Haer P, Borstlap WA, Kuijpers-Jagtman AM, Berge SJ: Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systematic review. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2011; 40: 341–352.
2. Rustemeyer J, Martin A. Soft tissue response in orthognathic surgery patients treated by bimaxillary osteotomy: cephalometry compared with 2-D photogrammetry. *Oral Maxillofac Surg* (2013) 17:33–41
3. Brons S, van Beusichem ME, Bronkhorst EM, Draaisma J, Berge´ SJ, et al. (2012) Methods to Quantify Soft-Tissue Based Facial Growth and Treatment Outcomes in Children: A Systematic Review. *PLoS ONE* 7(8): e41898. doi:10.1371/journal.pone.0041898
4. Hajeer M Y, Ayoubb AF, Millett DT. Three-dimensional assessment of facial soft-tissue asymmetry before and after orthognathic surgery. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* (2004)42,396—404
5. Kuijpers MA1, Chiu YT2, DNada RM3, Carels CE1, Fudalej PS4. Three-dimensional imaging methods for quantitative analysis of facial soft tissues and skeletal morphology in patients with orofacial clefts: a systematic review. *PLoS One.* 2014 Apr 7; 9(4):e93442. doi: 10.1371/journal.pone.0093442. Collection 2014.
6. Plooij JM, Swennen GR, Rangel FA, et al: Evaluation of reproducibility and reliability of 3D soft tissue analysis using 3D stereophotogrammetry. *Int J Oral Maxillofac Surg* 38:267, 2009
7. Nord F and all. The 3dMD photogrammetric photo system in cranio-maxillofacial surgery: Validation of inter-examiner variations and perceptions. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 43 (2015) 1798e1803
8. De Menezes M, Rosati R, Allievi C, Sforza C: A photographic system for the three dimensional study of facial morphology. *Angle Orthod* 79: 1070-1077, 2009
9. Dindaroğlu F, Kutlu P, Duran GS, Görgülü S, Aslan E. Accuracy and reliability of 3D stereophotogrammetry: A comparison to direct anthropometry and 2D photogrammetry. *Angle Orthod.* 2016 May; 86(3):487-94. doi: 10.2319/041415-244.1. Epub 2015 Aug 12.
10. Kook Min-Suk and all. A comparison study of different facial soft tissue analysis methods. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 42 (2014) 648-656
11. HAS/ANAES Indications de l'Orthopédie Dento-faciale et Dentomaxillofaciale chez l'enfant et l'adolescent (2002) et Recommandations pour la pratique clinique.
12. American Academy of Pediatric Dentistry Guideline on management of the developing denture and occlusion in pediatric dentistry. Revised 2014
13. American Association of Orthodontists. Clinical Practice Guidelines for Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. Revised 2014
14. British Orthodontic Society Managing the Developing Occlusion A guide for dental practitioners. 2010
15. European Commission. Radiation protection No 172. Cone beam CT for dental and maxillofacial radiology (Evidence based guidelines). Luxembourg: European Commission Directorate-General for Energy; 2012. [Updated 24 February 2014; Available from: http://www.sedentext.eu/files/radiation_protection_172.pdf
16. IRSN. Rapport Exposition de la population française aux rayonnements ionisants liée aux actes de diagnostic médical en 2012. Rapport PRP-HOM N°2014-6
17. Autorité de Sûreté Nucléaire, Dispositif règlementaire de radioprotection applicable en radiologie médicale et dentaire ; Octobre 2016.
18. FFO. Indications et champ d'application du CBCT en orthodontie. Recommandations de Bonne Pratique. 2017. à paraître
19. Goulston R, Davies J, Horner K, Murphy F. Dose optimization by altering the operating potential and tube current exposure time product in dental cone beam CT: a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol* 2016; 45: 20150254.
20. Loubele M, Bogaerts R, Van Dijck E, Pauwels R, Vanheusden S, Suetens P, et al. Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications. *Eur J Radiol* 2009; 71: 461–8.
21. Suomalainen A, Kiljunen T, Kaser Y, Peltola J, Kortensniemi M. Dosimetry and image quality of

- four dental cone beam computed tomography scanners compared with multislice computed tomography scanners. *Dentomaxillofac Radiol* 2009; 38: 367–78.
22. Jeong DK, Lee SC, Huh KH, Yi WJ, Heo MS, Lee SS, et al. Comparison of effective dose for imaging of mandible between multi-detector CT and cone-beam CT. *Imaging Sci Dent* 2012; 42: 65–70.
23. Ludlow JB, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008; 106: 106–14.
24. Silva MA, Wolf U, Heinicke F et al (2008) Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 133(640):1-640-5
25. Qu XM, Li G, Ludlow JB, Zhang ZY, Ma XC. Effective radiation dose of ProMax 3D cone-beam computerized tomography scanner with different dental protocols. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2010; 110:770–776
26. Deman P, Atwal P, Duzenli C, Thakur Y, Ford NL. Dose measurements for dental cone-beam CT: a comparison with MSCT and panoramic imaging. *Phys Med Biol*. 2014 Jun 21
27. American Association of Physicists in Medicine. Report 2010 Technical Report 111.
28. Pauwels R. Cone beam CT for dental and maxillofacial imaging; dose matters. *Radiat Prot Dosimetry*. 2015 Jul; 165(1-4):156-61. doi: 10.1093/rpd/ncv057. Epub 2015 Mar 23.
29. Hofmann E, Schmid M, Lell M, Hirschfelder U. Cone beam computed tomography and low-dose multislice computed tomography in orthodontics and dentistry: a comparative evaluation on image quality and radiation exposure. *J Orofac Orthop*. 2014 Sep; 75(5):384-98. doi: 10.1007/s00056-014-0232-x. Epub 2014 Aug 28.
30. HAS. Tomographie volumique à faisceau conique de la face. Rapport d'évaluation technologique. Décembre 2009
31. Veldhoen S, Schöllchen M, Hanken H, Precht C, Henes FO, Schön G, Nagel HD, Schumacher U Heiland M, Adam G, Regier M. Performance of cone-beam computed tomography and multidetector computed tomography in diagnostic imaging of the midface: A comparative study on Phantom and cadaver head scans. *Eur Radiol*. 2017 Feb; 27(2):790-800.
32. Matta RE, von Wilmowsky C, Winfried Neuhuber W, Lell M, Neukam FWB, Adler W, Wichmann M, Bastian Bergauer B. The impact of different cone beam computed tomography and multi-slice computed tomography scan parameters on virtual three-dimensional model accuracy using a highly precise ex vivo evaluation method. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 44 (2016) 632-636
33. Gaia BF, Pinheiro LR, Umetsubo OS, Costa FF, Cavalcanti MGP. Comparison of precision and accuracy of linear measurements performed by two different imaging software programs and obtained from 3D-CBCT images for Le Fort I osteotomy. *Dentomaxillofac Radiol* 2013; 42: 20120178.
34. Kapila SD, Nervina JM. CBCT in orthodontics: assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dentomaxillofac Radiol* 2015; 44: 20140282.
35. Faure J, Oueiss A, Marchal-Sixou C, Braga J et Treil J. Céphalométrie tridimensionnelle : applications en clinique et en recherche. *Orthod Fr* 2008; 79:13-30
36. Lisboa O, Masterson D, Motta AF, Motta AT. Reliability and reproducibility of three-dimensional cephalometric landmarks using CBCT: a systematic review *J Appl Oral Sci*. 2015; 23(2):112-9
37. Smektała T, Jędrzejewski M, Szyndel J, Sporniak-Tutak K, Olszewski R. Experimental and clinical assessment of three-dimensional cephalometry: a systematic review. *J Craniomaxillofac Surg*. 2014 Dec; 42(8):1795-801.
38. Medelnik J, Hertrich K, Steinhäuser-Andresen S, Hirschfelder U, Hofmann E: Accuracy of anatomical landmark identification using different CBCT- and MSCTbased 3D images: an in vitro study. *J Orofac Orthop* 72: 261-278, 2011
39. Olszewski R, Frison L, Wisniewski M, Denis JM, Vynckier S, Cosnard G, et al: Reproducibility of three-dimensional cephalometric landmarks in cone-beam and low-dose computed tomography. *Clin Oral Investig* 17: 285-292, 2013
40. Luu N; Nikolcheva LG, Retrouvey JM, Flores-Mir C, El-Bialy T, Carey JP, Major PW. Linear measurements using virtual study models. A systematic review *Angle Orthod*. 2012; 82:1098–1106.)
41. De Luca Canto G, Pachêco-Pereira C, Lagravere MO, Flores-Mir C, Major PW. Intra-arch dimensional measurement validity of laser-scanned

- digital dental models compared with the original plaster models: a systematic review. *Orthod Craniofac Res*. 2015 May; 18(2):65-76. doi: 10.1111/ocr.12068. Epub 2015 Feb 11.
43. Bouletreau P. ATM et chirurgie orthognathique. *Rev Stom ChirMax fac et Chir Orale*. 2016. 117 ; 212-216
44. SFSCMFCO. Orthèses (Gouitières) occlusales : indications dans les Dysfonctions Temporo-Mandibulaires. Recommandations de bonne pratique. Juillet 2016
45. Zain-Alabdeen EH, Alsadhan RI. A comparative study of accuracy of detection of surface osseous changes in the temporomandibular joint using multidetector CT and cone beam CT *Dentomaxillofacial Radiology* (2012) 41, 185–191. doi: 10.1259/dmfr/24985971
46. Rosas Gomes L and all. CBCT versus MSCT-Based Models on Assessing Condylar Morphology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2016 January; 121(1): 96–105.
47. Kadesjö N, Benchimol D, Falahat B, Nasstrom K, Shi X-Q. Evaluation of the effective dose of cone beam CT and multislice CT for temporomandibular joint examinations at optimized exposure levels. *Dentomaxillofac Radiol* 2015; 44: 20150041.
48. Lukat TD, Wong JCM, Lam EWN. Small field of view cone beam CT temporomandibular joint imaging dosimetry. *Dentomaxillofac Radiol* 2013; 42: 20130082.
49. Librizzi ZT, Tadinada AS, Valiyaparambil JV, Lurie AG, Mallya SM. Cone-beam computed tomography to detect erosions of the temporomandibular joint: effect of field of view and voxel size on diagnostic efficacy and effective dose. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 140: e25–30. doi: 10.1016/j.ajodo.2011.03.012
50. Caruso S et al. Temporomandibular Joint Anatomy Assessed by CBCT Images. *Hindawi BioMed Research International* Volume 2017, Article ID 2916953, 10 pages <https://doi.org/10.1155/2017/2916953>
51. Lecoq G, Ferri J et Doual Bisser A. L'hypercondylie : apport de la scintigraphie du diagnostic au traitement. *Orthod Fr*, 76 2 (2005) 165-173
52. Martin-Granizo R, Garcia-Rielo JM, De la Sen O, Maniegas L, Berguer A, De Pedro M. Correlation between single photon emission computed tomography and histopathologic findings in condylar hyperplasia of the temporomandibular joint. *J Craniomaxillofac Surg*. 2017 Jun;45(6):839-844. doi: 10.1016/j.jcms.2017.03.004. Epub 2017 Mar 24.
53. Takahara N, Kabasawa Y, Sato M, Tetsumura A, Kurabayashi T, Omura K. MRI changes in the temporomandibular joint following mandibular setback surgery using sagittal split ramus osteotomy with rigid fixation. *Cranio*. 2017 Jan; 35(1):38-45.
54. Ueki K, Yoshizawa K, Moroi A, Iguchi R, Kosaka A, Ikawa H, Saida Y, Hotta A, Tsutsui T. Changes in computed tomography values of mandibular condyle and temporomandibular joint disc position after sagittal split ramus osteotomy. *J Craniomaxillofac Surg*. 2015 Sep; 43(7):1208-17.
55. Kuehle R, Berger M, Saure D, Hoffmann J, Seeberger R. Oblique sagittal split osteotomy of the mandible: assessment of the positions of the mandibular condyles after orthognathic surgery based on cone-beam tomography. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 54 (2016) 638–642
56. Bénateau H, Chatellier A, Leprovost N, Ghezal S, Compère JF, Veyssièrre A. Condylar positioning during mandibular orthognathic surgery. *Rev Stomatol Chir Maxillofac Chir Orale*. 2014 Sep; 115(4):245-9. doi: 10.1016/j.revsto.2014.06.003. Epub 2014 Jul 4.
57. Bettega G, Cinquin P, Lebeau J, Raphael B. Computer-assisted orthognathic surgery: clinical evaluation of a mandibular condyle repositioning system. *J Oral Maxillofac Surg*. 2002; 60(1):27–34. [PubMed: 11757002]
58. Marmulla R, Mühling J. Computer-assisted condyle positioning in orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg*. 2007 Oct; 65(10):1963-8.
59. Zaghi S, Holty JE, Certal V, Abdullatif J, Guillemineault C, Powell NB, Riley RW, Camacho M. Maxillomandibular Advancement for Treatment of Obstructive Sleep Apnea: A Meta-analysis. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 2016 Jan 1; 142(1):58-66. doi: 10.1001/jamaoto.2015.2678.
60. Abdullatif J, Certal V, Zaghi S, Song SA, Chang ET, Gillespie MB, Camacho M. Maxillary expansion and maxillomandibular expansion for adult OSA: A systematic review and meta-analysis. *J Craniomaxillofac Surg*. 2016 May;44(5):574-8. doi: 10.1016/j.jcms.2016.02.001. Epub 2016 Feb 6.
61. Patini R, Arrica M, Di Stasio E, Gallenzi P, Cordaro M. The use of magnetic resonance imaging in the evaluation of upper airway structures in paediatric obstructive sleep apnoea syndrome: a systematic review and meta-analysis.

- Dentomaxillofac Radiol. 2016;45(7):20160136. doi: 10.1259/dmfr.20160136. Epub 2016 Aug 19.
62. Chen H, Aarab G, de Ruiter MH, de Lange J, Lobbezoo F, van der Stelt PF. Three-dimensional imaging of the upper airway anatomy in obstructive sleep apnea: a systematic review. *Sleep Med.* 2016 May; 21:19-27. doi: 10.1016/j.sleep.2016.01.022. Epub 2016 Apr 5.
63. Guijarro-Martinez R, Swennen GR. Cone-beam computerized tomography imaging and analysis of the upper airway: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2011; 40:1227–37.
64. Zimmerman JN, Lee J, Pliska BT. Reliability of upper pharyngeal airway assessment using dental CBCT: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2016 Dec 20. pii: cjlw079. doi: 10.1093/ejo/cjlw079.
65. Christovam O, Lisboa CO, Ferreira DM, Cury-Saramago AA, Mattos CT: Upper airway dimensions in patients undergoing orthognathic surgery: a systematic review and meta-analysis. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2016; 45: 460–471
66. Freire-Maia B, Machado V, C. Valerio C, Custodio AL, Manzi FR, Junqueira LC: Evaluation of the accuracy of linear measurements on multi-slice and cone beam computed tomography scans to detect the mandibular canal during bilateral sagittal split osteotomy of the mandible. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2017; 46: 296–302
67. Agbaje JO, Sun Y, S. De Munter, S. Schepers, L. Vrielinck, I. Lambrichts, C. Politis: CBCT-based predictability of attachment of the neurovascular bundle to the proximal segment of the mandible during sagittal split osteotomy. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2013; 42: 308–315
68. Aizenbud D, Ciceu C, H. Hazan-Molina, I. Abu-El-Naaj: Relationship between inferior alveolar nerve imaging and neurosensory impairment following bilateral sagittal split osteotomy in skeletal class III cases with mandibular prognathism. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2012; 41: 461–468
69. Park H, Tai K, Owtad P. 3-Dimensional cone-beam computed tomography superimposition: A review. *Seminars in Orthodontics*, Vol 21, No4, 2015: pp263–273
70. Joda T, Brägger U, Gallucci G. Systematic literature review of digital three-dimensional superimposition techniques to create virtual dental patients. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2015 Mar-Apr; 30(2):330-7. doi: 10.11607/jomi.3852.
71. de Waard O, Baan F, Verhamme L, Breuning H, Kuijpers-Jagtman AM, Maal T. A novel method for fusion of intra-oral scans and cone-beam computed tomography scans for orthognathic surgery planning. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 44 (2016) 160e166
72. Yang WM1, Ho CT2, Lo LJ3. Automatic Superimposition of Palatal Fiducial Markers for Accurate Integration of Digital Dental Model and Cone Beam Computed Tomography. *J Oral Maxillofac Surg.* 2015 Aug; 73(8):1616.-1610. doi: 10.1016/j.joms.2015.04.004. Epub 2015 Apr 14.
73. Al-Saleh et al. MRI and CBCT image registration of temporomandibular joint: a systematic review *Journal of Otolaryngology - Head and Neck Surgery* (2016) 45:30
74. Lin HH1, Lo LJ2. Three-dimensional computer-assisted surgical simulation and intraoperative navigation in orthognathic surgery: a literature review. *J Formos Med Assoc.* 2015 Apr;114(4):300-7. doi: 10.1016/j.jfma.2015.01.017. Epub 2015 Mar 3.
75. Ho C.T. *et al.* Three-dimensional surgical simulation improves the planning for correction of facial prognathism and asymmetry: A qualitative and quantitative study. *Sci. Rep.* 7, 40423; doi: 10.1038/srep40423 (2017).
76. Lonc D, Pai BC-J, Yamaguchi K, Chortrakarnkij P, Lin H-H, Lo L-J (2016) Computer- Assisted Orthognathic Surgery for Patients with Cleft Lip/Palate: From Traditional Planning to Three- Dimensional Surgical Simulation. *PLoS ONE* 11(3):e0152014. doi:10.1371/journal.pone.0152014
77. Stokbro K, Aagaard E, Torkov P, Bell R, Thygesen T: Virtual planning in orthognathic surgery. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2014; 43: 957–965
78. Mazzoni S, Badiali G, Lancellotti L, Babbi L, Bianchi A, Marchetti C. Simulation-guided navigation: a new approach to improve intraoperative three-dimensional reproducibility during orthognathic surgery. *J Craniofac Surg* 2010; 21:1698–705
79. Hsu SS, Gateno J, Bell RB, Hirsch DL, Markiewicz MR, Teichgraber JF, et al. Accuracy of a computer-aided surgical simulation protocol for orthognathic surgery: a prospective multicenter study. *J Oral Maxillofac Surg* 2013; 71:128–42.
80. Centenero AH, Hernández-Alfaro F. 3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard

- tissues results—our experience in 16 cases. *J Craniomaxillofac Surg* 2012; 40:162–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcms.2011.03.014>. 17.
81. Xia JJ, Gateno J, Teichgraber JF, Christensen AM, Lasky RE, Lemoine JJ, et al. Accuracy of the computer-aided surgical simulation (CASS) system in the treatment of patients with complex craniomaxillofacial deformity: a pilot study. *J Oral Maxillofac Surg* 2007; 65:248–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2006.10.005>.
 82. Marchetti C, Bianchi A, Bassi M, Gori R, Lamberti C, Sarti A. Mathematical modeling and numerical simulation in maxillo-facial virtual surgery (VISU). *J Craniofac Surg* 2006; 17:661–7.
 83. Tucker S, Cevidanes LH, Styner M, Kim H, Reyes M, Proffit W, et al. Comparison of actual surgical outcomes and 3-dimensional surgical simulations. *J Oral Maxillofac Surg* 2010; 68:2412–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2009.09.058>.
 84. Zinser MJ, Mischkowski RA, Sailer HF, Zoller JE. Computer-assisted orthognathic surgery: feasibility study using multiple CAD/CAM surgical splints. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2012; 113:673–87. Ht
 85. Haas Jr OL, Becker OE, de Oliveira RB. Computer-aided planning in orthognathic surgery-systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2014 Nov 25. pii: S0901-5027(14)00430-5. doi: 10.1016/j.ijom.2014.10.025.
 86. Li B, Zhang L, Sun H, Yuan J, Shen SG, Wang X. A novel method of computer aided orthognathic surgery using individual CAD/ CAM templates: a combination of osteotomy and repositioning guides. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2013; 51:e239–e244.
 87. Sun Y, Luebbbers HT, Agbaje JO, Schepers S, Vrielinck L, Lambrechts I, et al. Accuracy of upper jaw positioning with intermediate splint fabrication after virtual planning in bimaxillary orthognathic surgery. *J Craniofac Surg* 2013; 24:1871–6.
 88. De Riu G, Meloni SM, Baj A, Corda A, Soma D, Tullio A. Computer-assisted orthognathic surgery for correction of facial asymmetry: results of a randomized controlled clinical trial. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2014; 52:251–7.
 89. Zhang N, DDS, Liu S, Hu Z, Hu J, Zhu S, Li Y. Accuracy of virtual surgical planning in two-jaw orthognathic surgery: comparison of planned and actual results. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2016; 122:143-151
 90. Van Hemelen G1, Van Genechten M1, Renier L1, Desmedt M2, Verbruggen E3, Nadjmi N4. Three-dimensional virtual planning in orthognathic surgery enhances the accuracy of soft tissue prediction. *J Craniomaxillofac Surg*. 2015 Jul;43(6):918-25. doi: 10.1016/j.jcms.2015.04.006. Epub 2015 Apr 30.
 91. Kim DS, Woo SY, Yang HJ, et al. An integrated orthognathic surgery system for virtual planning and image-guided transfer without intermediate splint. *J Craniomaxillofac Surg*. 2014; 42: 2010-2017.
 92. Stokbro K, Aagaard E, Torkov P, Bell RB, Thygesen T: Surgical accuracy of three dimensional virtual planning: a pilot study of bimaxillary orthognathic procedures including maxillary segmentation. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg*. 2016; 45: 8–18.
 93. Wrzosek MK, Peacock ZS, Laviv A, Goldwasser BR, Ortiz R, Resnick CM, Troulis MJ, Kaban LB. Comparison of time required for traditional versus virtual orthognathic surgery treatment planning. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2016 Sep;45(9):1065-9. doi: 10.1016/j.ijom.2016.03.012. Epub 2016 Apr 18.
 94. Rustemeyer J, Martin A. Soft tissue response in orthognathic surgery patients treated by bimaxillary osteotomy: cephalometry compared with 2-D photogrammetry. *Oral Maxillofac Surg*. 2013 Mar; 17(1): 33–41. Published online 2012 May 5. doi: 10.1007/s10006-012-0330-0
 95. Prisse LA, Courvoisier DS, Scolozzi P. Did the hand drawn cephalometric tracing technique for orthognathic surgery planning say its last word? Objective and subjective evaluation. *J Craniofac Surg*.2013Jul;24(4):320-5.
 96. Abe N, S. Kuroda S, Furutani M, Tanaka E: Data-based prediction of soft tissue changes after orthognathic surgery: clinical assessment of new simulation software. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg*. 2015; 44: 90–96.
 97. Liebrechts J, Xi T, Timmermans M, de Koning Ma, Berg_S, Hoppenreijts T, Maal T. Accuracy of three-dimensional soft tissue simulation in bimaxillary osteotomies. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 43 (2015) 329-335
 98. Ullah R, Turner PJ, Khambay BS. Accuracy of three-dimensional soft tissue predictions in orthognathic surgery after Le Fort I advancement osteotomies. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2015 Feb; 53(2):153-7.
 99. Schouman et al. Accuracy evaluation of CAD/CAM generated splints in orthognathic surgery: a cadaveric study. *Head & Face Medicine* (2015) 11:24

100. Polley JW, Figueroa AA. Orthognathic positioning system: intraoperative system to transfer virtual surgical plan to operating field during orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013 May; 71(5):911-20.
101. Scolozzi P1. Computer-aided design and computer-aided modeling (CAD/CAM) generated surgical splints, cutting guides and custom-made implants: Which indications in orthognathic surgery? *Rev Stomatol Chir Maxillofac Chir Orale.* 2015 Dec; 116(6):343-9.
102. Philippe B. Chirurgie maxillo-faciale guidée : simulation et chirurgie assistée par guides stéréolithographiques et miniplaques titane préfabriquées. *Rev Stomatol Chir Maxillofac Chir Orale* 2013; 114: 228-46.
103. Philippe B: Custom-made prefabricated titanium miniplates in Le Fort I osteotomies: Principles, procedure and clinical insights. *Int J Oral Maxillofac Surg* 42:1001, 2013
104. Metzger MC, Hohlweg-Majert B, Schwarz U, Teschner M, Hammer B, Schmelzeisen R. Manufacturing splints for orthognathic surgery using a three-dimensional printer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008; 105: e1-7. doi: 10.1016/j.tripleo.2007.07.040
105. Shaheen E1, Sun Y2, Jacobs R2, Politis C2. Three-dimensional printed final occlusal splint for orthognathic surgery: design and validation. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2017 Jan; 46(1):67-71. doi: 10.1016/j.ijom.2016.10.002. Epub 2016 Nov 1
106. Zinser MJ1, Sailer HF, Ritter L, Braumann B, Maegele M, Zöller JE. A paradigm shift in orthognathic surgery? A comparison of navigation, computer-aided designed/computer-aided manufactured splints, and "classic" intermaxillary splints to surgical transfer of virtual orthognathic planning. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013 Dec; 71(12):2151.e1-21.
107. Brunso J, Franco M, Constantinescu T, Barbier L, Santamar J, Alvarez J. Custom-Machined Miniplates and Bone-Supported Guides for Orthognathic Surgery: A New Surgical Procedure. *J Oral Maxillofac Surg* 74:1061.61-1061.612, 2016
108. Mazzoni S, Bianchi A, Schiariti G, et al: Computer-aided design and computer-aided manufacturing cutting guides and customized titanium plates are useful in upper maxilla waferless repositioning. *J Oral Maxillofac Surg* 73:701, 2015
109. Kraeima K, Jansma J, Schepers RH. Splintless surgery: does patient-specific CAD-CAM osteosynthesis improve accuracy of Le Fort I osteotomy? *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 54 (2016) 1085–1089
110. Lutz JC, Nicolau S, Agnus V, Bodin F, Wilk A, Bruant-Rodier C, Rémond Y, Soler L. A novel navigation system for maxillary positioning in orthognathic surgery: Preclinical evaluation. *J Craniomaxillofac Surg.* 2015 Nov; 43(9):1723-30. doi: 10.1016/j.jcms.2015.08.001. Epub 2015 Aug 21. PMID: 26364761
111. Azarmehr I, Stokbro K, Bell RB, Thygesen T. Surgical Navigation: A Systematic Review of Indications, Treatments, and Outcomes in Oral and Maxillofacial Surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2017 Jan 18. pii: S0278-2391(17)30073-3. doi: 10.1016/j.joms.2017.01.004. [Epub ahead of print]
112. Benassarou M, Benassarou A, Meyer C. La navigation en chirurgie orthognathique. Application à l'ostéotomie Le Fort I. *Rev Stomatol Chir Max Fac Ch Oral.* 2013.114 ; 219-227
113. Bettega G, Cinquin P, Lebeau J, Raphael B: Computer-assisted orthognathic surgery: clinical evaluation of a mandibular condyle repositioning system. *J Oral Maxillofac Surg* 60: 27-34, 2002
114. Lee SJ, Woo SY, Huh KH, Lee SS, Heo MS, Choi SC, Han JJ, Yang HJ, Hwang SJ, Yi WJ. Virtual skeletal complex model- and landmark-guided orthognathic surgery system. *J Craniomaxillofac Surg.* 2016 May; 44(5):557-68. doi: 10.1016/j.jcms.2016.02.009. Epub 2016 Feb 26
115. Sun Y, Luebbbers H-T, Agbaje JO, et al: The accuracy of image guided navigation for maxillary positioning in bimaxillary surgery. *J Craniofac Surg* 25:1095, 2014
116. Lin HH, Chang HW, Wang CH, Kim SG, Lo LJ. Three-dimensional computer-assisted orthognathic surgery: experience of 37 patients. *Ann Plast Surg.* 2015 May; 74 Suppl 2:S118-26. doi: 10.1097/SAP.0000000000000455.
117. Zinser MJ1, Mischkowski RA, Dreiseidler T, Thamm OC, Rothamel D, Zöller JE. Computer-assisted orthognathic surgery: waferless maxillary positioning, versatility, and accuracy of an image-guided visualisation display. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2013 Dec; 51(8):827-33. doi: 10.1016/j.bjoms.2013.06.014. Epub 2013 Sep 14.
118. Mazzoni S, Badiali G, Lancellotti L, Babbi L, Bianchi A, Marchetti C. Simulation-guided navigation: a new approach to improve intraoperative three-dimensional reproducibility during orthognathic surgery. *J Craniofac Surg* 2010; 21: 1698-705.