

Architecture cranio-facio-maxillo-dentaire. Un modèle tridimensionnel. Applications en clinique orthodontique et chirurgie orthognathique

J Treil
J Casteigt
J Faure
C Madrid
P Borianne
M Jaeger

Résumé. – La méthode proposée par les auteurs associe des données tomodensitométriques, des informations anatomiques et des outils mathématiques pour générer, à l'aide du logiciel C2000 Cepha, un modèle 3D de l'architecture cranio-facio-maxillo-dentaire.

Le modèle est réalisé à partir de la sélection sur les coupes axiales natives tomodensitométriques de huit repères anatomiques et des dents, qui sont tous et toutes situés sur les axes trigéminaux de la croissance neuromatricielle de la face décrits par Moss.

Le modèle correspond à une hiérarchie d'éléments anatomiques comprenant : premièrement la charpente maxillofaciale ; deuxièmement : chaque dent, les quatre hémiarcades, les deux arcades maxillaire et mandibulaire, l'ensemble des deux arcades. La géométrie de ces éléments est mathématiquement définie par le calcul de leurs axes d'inertie.

Le calcul des axes d'inertie des éléments alvéolodentaires de la hiérarchie et d'un repère orthonormé direct pour la charpente maxillofaciale permet en outre la création, pour chacun des éléments, de la hiérarchie d'un repère tridimensionnel qui lui-même permet le calcul de l'orientation des éléments les uns par rapport aux autres.

Le modèle est suffisamment stable pour constituer un standard biométrique universel capable de définir, par son équilibre et sa symétrie, la normalité de sujets d'origines ethniques et culturelles différentes. Ce sont les déséquilibres et les asymétries du modèle qui caractérisent les pathologies. C'est le suivi temporel du modèle qui permet de modéliser et de prévoir la croissance.

© 2000 Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : tomodensitométrie, céphalométrie, orthodontie, chirurgie, anatomie, croissance.

Introduction

Depuis que l'orthodontie existe, la recherche de moyens susceptibles à la fois de définir la normalité, de prévoir la croissance et d'appréhender les dysmorphies, focalise l'ambition des cliniciens.

La naissance contemporaine de l'orthodontie et de la radiologie explique certainement que la première se soit tournée vers la seconde pour se procurer les « outils » pour accomplir cette triple mission. Mais cette aide et les différentes investigations sont restées fondamentalement axées sur la mesure de paramètres sélectionnés sur des téléradiographies du crâne [7, 23, 33].

L'unicité de ce moyen radiographique contraste toutefois avec la multiplicité des analyses céphalométriques proposées qui, toutes, selon l'aphorisme de J Delaire, souffrent d'un même défaut : « La géométrie plane est inapte à l'analyse d'un volume et de sa croissance. » [11]

L'évolution conjointe des moyens de l'imagerie médicale, des méthodes de calcul informatique, des possibilités de stockage et de

transport des données numériques, permet maintenant d'envisager la création, le développement et l'application inéluctables de méthodes différentes.

La méthode proposée associe des données numériques tomodensitométriques (TDM), des informations anatomiques et des outils mathématiques pour générer, à l'aide du logiciel C2000 Cepha, un modèle 3D de l'architecture craniofaciale chez l'homme [29, 30].

Le modèle est suffisamment stable pour constituer un standard biométrique universel capable de définir, par son équilibre et sa symétrie, la « normalité » de sujets d'origines ethniques et culturelles différentes [6].

Ce sont les déséquilibres et les asymétries du modèle qui permettent de caractériser les pathologies et de proposer des stratégies thérapeutiques adaptées susceptibles d'apporter des corrections.

C'est enfin le suivi temporel du modèle qui permet de modéliser et de prévoir la croissance.

Création du modèle

ACQUISITIONS TOMODENSITOMÉTRIQUES

Les acquisitions des données TDM sont réalisées sur des sujets en décubitus et en occlusion, dans des conditions de confort suffisantes pour obtenir, dans la quasi-totalité des cas, l'immobilité nécessaire des patients.

Une hélice d'acquisition programmée sur un mode radiographique du crâne de profil réalisé dans un premier temps est étendue de l'os

Jacques Treil : service de radiologie, clinique Pasteur, 31300 Toulouse, France.

Jean Casteigt : Professeur.

Jacques Faure : Maître de conférences des Universités, praticien hospitalier.

Carlos Madrid : Maître de conférences des Universités, praticien hospitalier.

Faculté d'odontologie, université Toulouse III, France.

Philippe Borianne : Ingénieur de recherche.

Marc Jaeger : Ingénieur de recherche.

Unité de modélisation, CIRAD GERDAT Montpellier, France.

Toute référence à cet article doit porter la mention : Treil J, Casteigt J, Faure J, Madrid C, Borianne P et Jaeger M. Architecture cranio-facio-maxillo-dentaire. Un modèle tridimensionnel. Applications en clinique orthodontique et chirurgie orthognathique. Encycl Méd Chir (Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris, tous droits réservés), Odontologie/Stomatologie, 23-455-E-40, 2000, 8 p.

hyoïde aux toits orbitaires. Quels que soient le pas de l'hélice et l'épaisseur de 1 ou 2 mm des coupes natives, le temps d'acquisition n'excède pas 60 secondes.

Conditions habituelles d'acquisition :

- 75 mas ;
- 90 kv ;
- pitch de 1 ;
- coupes d'épaisseur 1 ou 2 mm.

Les données numériques générées sont actuellement sur les appareils TDM de dernière génération, exportables au format DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*). Ce format est exploitable par la majorité des logiciels d'imagerie médicale 3D commercialisés qui sont utilisables sous environnement UNIX ou PC.

Contrairement à la radiographie conventionnelle, à partir d'une seule acquisition, il est possible d'obtenir une multitude de vues, tout en s'affranchissant des aléas de réalisation des téléradiographies et pour des doses d'irradiation inférieures.

INFORMATIONS ANATOMIQUES

Le problème anatomique consiste à trouver, pour les sélectionner, des repères et des structures anatomiques remarquables, stables et cohérents, susceptibles par leur distribution spatiale de rendre compte de l'architecture maxillofaciale.

Sur les coupes TDM natives 2D sont sélectionnés huit repères anatomiques, ainsi que le système dentaire : tous sont situés sur les axes trigéminaux retenus par Moss dans sa théorie de la croissance neuromatricielle de la face ^[2, 18] :

- les deux foramen supraorbitaires, orifices d'émergence des branches du V1 ;
- les deux foramen infraorbitaires, orifices d'émergence des branches du V2 ;
- les deux foramen mentaux, orifices d'émergence des branches du V3 ;
- les têtes des marteaux : ces derniers sont originaires du premier arc. En outre, les muscles tenseurs du tympan sont innervés par le trijumeau ;
- les dents, qui par leur destinée proprioceptive font partie intégrante du système trigéminal : V2 et V3.

Ces éléments anatomiques ont été retenus pour générer le modèle tridimensionnel de la face. Le logiciel fournit cependant la possibilité de créer d'autres modèles à partir de la sélection de repères anatomiques différents et additionnels. Le foramen mandibulaire, le foramen ovale, le foramen grand rond, le foramen nasopalatin, le foramen palatin postérieur, ou encore l'impression trigéminale, sont parfaitement identifiables et sélectionnables sur les coupes TDM natives 2D.

Tous ces repères anatomiques additionnels ont toujours la particularité d'être situés sur les axes trigéminaux.

OUTILS MATHÉMATIQUES

L'une des particularités de la méthode est l'utilisation d'un outil mathématique original en biologie du développement : les axes d'inertie ^[5, 28].

On cherche à caractériser la géométrie d'objets anatomiques discrets obtenus par empilement de coupes sériées numériques jointives d'épaisseur homogène, issues d'examens médicaux de type TDM ou imagerie par résonance magnétique (IRM).

Ces objets sont classiquement représentés par des ensembles d'éléments de volume appelés voxels : parallélépipèdes rectangles généralement non cubiques.

L'objectif est de trouver une représentation synthétique géométrique significative et pertinente des éléments anatomiques qui permet de :

- quantifier la dispersion géométrique, la forme et l'étendue des objets étudiés ;
- comparer différentes acquisitions d'un même objet ou différents objets d'une même acquisition ;
- d'étudier éventuellement la cinématique simplifiée des objets anatomiques.

Pour simplifier la manipulation des données, chaque parallélépipède est caractérisé par les coordonnées X, Y, Z de son centre de gravité avec une unité de masse ou de volume, de telle sorte que l'objet discret soit représenté par un nuage de points. La géométrie de l'objet anatomique est elle-même représentée par la dispersion des points du nuage, grandeur classiquement traduite par la matrice de dispersion.

On caractérise la dispersion des points du nuage par les composantes principales (approche statistique) ou axes principaux d'inertie (approche physique) obtenus à partir de la matrice de dispersion. C'est un ensemble de trois axes perpendiculaires deux à deux, liés au nuage de points et tournant avec lui, et pour lequel la matrice de dispersion est diagonale.

Pour ces trois axes orthogonaux, la dispersion des projections orthogonales des points du nuage est maximale.

Les composantes principales ou axes principaux d'inertie de l'objet décrivent une ellipsoïde qui couvre plus de 90 % du nuage de points (Tchebycheff-Bienaymé). Le système est suffisamment stable, quelles que soient les conditions de la discrétisation (taille de la matrice et épaisseur des coupes TDM natives, orientation de l'objet) pour être caractéristique de la géométrie de l'objet.

CRÉATION DE L'IMAGERIE ET DU MODÈLE 3D DE L'ARCHITECTURE MAXILLOFACIALE (fig 1)

Le logiciel C2000 Cepha va créer, en supplément de l'imagerie, le modèle géométrique 3D de l'architecture maxillofaciale ^[31]. C'est ce modèle qui sert de référence pour apprécier l'équilibre et la symétrie du sujet orthomorphe, pour quantifier le déséquilibre et l'asymétrie du sujet dysmorphique, ou encore pour réaliser une modélisation de la croissance maxillofaciale.

■ Imagerie 3D

À partir des données numériques des coupes TDM, le logiciel C2000 Cepha réalise l'imagerie 3D des éléments anatomiques maxillofaciaux. Ils sont reconstruits selon la méthode du seuillage des niveaux de gris et le principe du *dividing cube* qui définit des surfaces d'isovaleurs dans un volume. Des outils informatiques isolent ou mélangent ces éléments sous une multitude de vues, qui peuvent être orthogonales, avec plus ou moins de profondeur et de transparence.

■ Modèle géométrique 3D

À partir des coordonnées X, Y, Z, des huit repères anatomiques sélectionnés sur les coupes TDM natives, le logiciel C2000 édifie une construction géométrique appelée « charpente maxillofaciale » ^[27].

À partir de la sélection sur les coupes TDM natives des dents, le logiciel C2000 calcule les axes d'inertie de chaque dent et de groupes de dents.

Le modèle 3D ainsi créé correspond à une « hiérarchie » d'éléments mathématiquement définis et anatomiquement homogènes : la dent unitaire, les quatre hémiarcades, les deux arcades maxillaire et mandibulaire isolées ou prises dans leur ensemble et la charpente maxillofaciale.

Gestion du modèle

Il est possible de caractériser le modèle par le calcul d'une multitude de paramètres ^[31].

Pour une application en clinique orthodontique et en chirurgie orthognatique, le modèle 3D de l'architecture maxillofaciale est divisé en trois étages :

Ce repère tridimensionnel correspond à un repère orthonormé direct dont la première direction est donnée par la droite joignant le foramen infraorbitaire droit au foramen infraorbitaire gauche, la deuxième direction correspond à la perpendiculaire à la première abaissée à partir du milieu de la tête des marteaux, la troisième direction est calculée et correspond à la perpendiculaire aux deux précédentes passant par leur point d'intersection.

Pour apprécier séparément l'équilibre et la symétrie de chacun des étages, orbitaire et maxillo-mandibulaire et des surfaces faciale, horizontale et sagittale, celles-ci sont elles-mêmes divisées par des axes de symétrie.

Pour la surface faciale verticale : deux axes de symétrie verticaux qui passent par le milieu des foramen supraorbitaires et le milieu des foramen infraorbitaires pour le supérieur, et par le milieu des foramen infraorbitaires et le milieu des foramen mentonniers pour l'inférieur ; un axe de symétrie horizontal qui passe par les foramen infraorbitaires : il est divisé en deux, un droit et un gauche, par le point milieu des foramen infraorbitaires.

Pour la surface horizontale basicrânienne : un axe de symétrie sagittal qui passe en avant par le milieu des foramen infraorbitaires et en arrière par le milieu des têtes des marteaux ; un axe de symétrie transversal qui passe de chaque côté par le milieu des droites qui joignent le foramen infraorbitaire à la tête du marteau. Ces deux axes sont divisés en deux par leur point milieu.

Pour la surface sagittale médiane : un axe horizontal qui est confondu avec l'axe sagittal du plan basicrânien.

L'équilibre et la symétrie de la charpente maxillofaciale et de ses surfaces sont appréciés et quantifiés par le calcul de différents paramètres :

– *paramètres de volume* : les volumes calculés correspondent aux étages orbitaire, maxillo-mandibulaire et leur rapport ;

– *paramètres de distance* : ils correspondent aux longueurs calculées entre les huit points sommets de la charpente maxillofaciale et les points milieux qui séparent ces points pris deux à deux.

Dans l'optique d'une caractérisation simplifiée du modèle de la charpente maxillofaciale, on peut calculer sa hauteur, sa largeur, sa profondeur et leurs rapports ;

– *paramètres de surface* : ils correspondent aux valeurs des surfaces des deux pentaèdres orbitaire et maxillo-mandibulaire et des plans moyens facial, horizontal et sagittal ;

– *paramètres angulaires* : les valeurs calculées correspondent à des angles non projetés ou projetés.

Les angles calculés non projetés sont soit :

– délimités par des plans : les plans moyens facial, horizontal et sagittal ;

– délimités par des axes : les axes de « symétrie » qui divisent les surfaces faciale, horizontale et sagittale ;

– délimités par des points : à partir de trois points quelconques des huit points sommets de la charpente maxillofaciale.

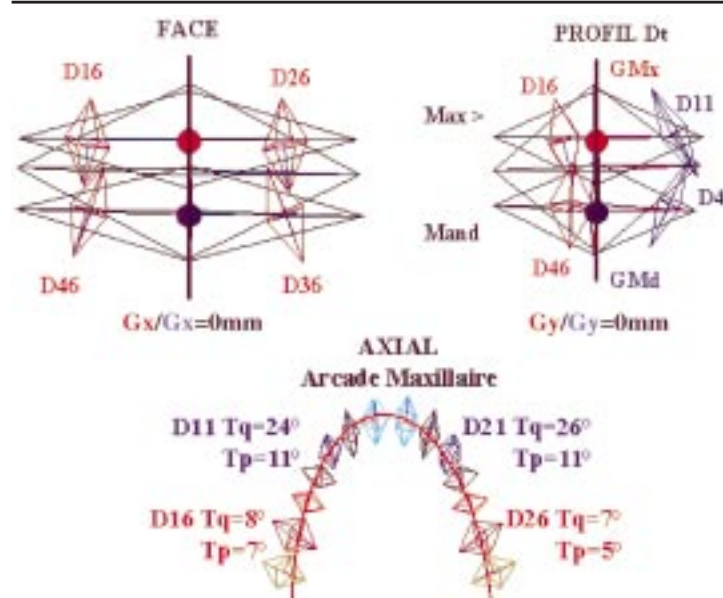
Les angles calculés projetés sont délimités par les axes de « symétrie » qui divisent les surfaces faciale, horizontale et sagittale, projetés soit sur les plans moyens, soit sur les surfaces du repère orthonormé direct ;

– *paramètres de position du centre de gravité de la charpente maxillofaciale* : sa situation est définie par la valeur de sa projection sur les trois axes X, Y, Z du repère orthonormé direct.

ARCADES DENTAIRES (fig 3)

Les arcades dentaires sont mathématiquement définies par le calcul des axes d'inertie de groupes de dents maxillaires, mandibulaires ou de la totalité des dents.

Les hémiairades sont mathématiquement définies par le calcul des axes d'inertie de groupes de dents de chaque hémiairade droite et gauche des étages maxillaire et mandibulaire.



3 Représentation 3D de l'étage alvéolo-dentaire du modèle.

Les arcades dentaires maxillaire, mandibulaire et les deux arcades prises ensemble : vues de face et sagittale ; sujet orthomorphique. Notez le parallélisme des plans d'arcades et la localisation sur un même axe vertical des centres de gravité.

Les dents : vue axiale inférieure de la courbe d'arcade et des dents maxillaires ; calcul du torque et du tipping des incisives centrales et des dents de 6 ans.

L'étude des arcades, des hémiairades et de leurs rapports est réalisée par le calcul de différents paramètres :

– paramètres de volume de chacun des éléments arcades et hémiairades ;

– paramètres de distance : les longueurs qui séparent les centres de gravité de chacun des éléments sont calculées, projetées sur les axes du repère orthonormé direct de la charpente maxillofaciale ;

– paramètres angulaires : valeurs des angles définis par les axes d'inertie des arcades et hémiairades pris deux à deux, calculées non projetées ou projetées sur les plans moyens ou encore sur les plans du repère orthonormé direct du modèle de la charpente maxillofaciale.

DENTS (fig 3)

Chaque dent est mathématiquement définie par ses axes d'inertie. L'axe d'inertie principal de la dent, c'est-à-dire le plus long, correspond à son axe coronoradiculaire. Chaque dent est également caractérisée par les coordonnées X, Y, Z de son centre de gravité.

La distribution spatiale des dents est définie par le calcul :

– *d'une courbe d'arcade* : elle correspond à une courbe de régression calculée à partir des centres de gravité des dents. Cette courbe est elle-même projetée dans un plan moyen calculé par la méthode des moindres carrés, toujours à partir des centres de gravité des dents.

Le logiciel calcule en outre la surface délimitée par les courbes d'arcade maxillaire et mandibulaire projetées, pour un suivi des sujets dans le plan horizontal basicrânien invariant de la charpente maxillofaciale ;

– de *valeurs angulaires* qui se réfèrent à cette courbe :

– *torque* : il correspond à la valeur de l'angle formé par l'axe d'inertie principal de la dent, orienté dans le sens coronoradiculaire, et l'axe normal au plan moyen, lorsque ces axes sont projetés dans le plan normal à la courbe d'arcade en chaque point projeté du centre de gravité de la dent sur la courbe d'arcade ;

– *tipping* : il correspond à la valeur de l'angle formé par l'axe d'inertie principal de la dent, orienté dans le sens coronoradiculaire, et l'axe normal au plan moyen de l'arcade lorsque ces axes sont projetés dans le plan tangent à la courbe d'arcade en chaque point projeté du centre de gravité de la dent sur la courbe d'arcade ;

- il faut remarquer que nos paramètres diffèrent de ceux usuellement qualifiés par ces termes en orthodontie. En effet, torque (inclinaison) et tipping (angulation) repèrent dans le langage courant la position de l'axe de la face vestibulaire et non l'axe coronaradiculaire de la dent ;
- *volume* : le logiciel calcule également le volume de chaque dent.

Applications cliniques

DÉFINITION DE LA « NORMALITÉ »

L'analyse réalisée sur une population orthomorphique montre clairement l'existence d'un équilibre du modèle.

La symétrie transversale droite-gauche et l'harmonie verticale et antéropostérieure de la charpente maxillofaciale se traduisent par un rapport d'orthogonalité des trois plans moyens.

À l'étage dentoalvéolaire, le parallélisme des axes d'inertie des arcades ou des plans qu'ils définissent, ainsi que la situation sur un même axe vertical des centres de gravité des arcades, témoignent d'un rapport d'équilibre des arcades entre elles, d'origine certainement fonctionnelle.

Enfin, l'existence d'un parallélisme entre les plans horizontaux des arcades avec le plan horizontal basicrânien de la charpente d'une part, et les plans verticaux frontaux des arcades avec le plan facial de la charpente d'autre part, témoigne également d'une relation d'équilibre entre les trois étages osseux, alvéolaire et dentaire du modèle.

Le modèle est suffisamment stable pour constituer un standard biométrique universel capable de définir, par son équilibre et sa symétrie, la « normalité » de sujets d'origines ethniques et culturelles différentes.

CARACTÉRISATION DES PATHOLOGIES

Dans le domaine du pathologique, l'analyse va nous permettre d'objectiver et de quantifier le déséquilibre et l'asymétrie du modèle et de proposer une thérapeutique susceptible de les corriger.

Le problème est délicat. Il faut générer, pour une application clinique, des analyses qui concilient deux impératifs : la concision et la précision.

Il s'agit de trouver, parmi la multitude de paramètres disponibles, ceux qui sont les plus pertinents pour définir des catégories. Les pathologies sont anatomiquement plus ou moins complexes ; elles associent à des degrés divers des déséquilibres et des asymétries dans les trois sens de l'espace.

L'analyse du modèle doit être progressive du général au particulier pour permettre une caractérisation que l'on pourrait qualifier de « sur mesure », comme devrait être le traitement à terme.

La présentation que nous faisons et les exemples que nous proposons dans cet article pour illustrer notre propos ne peuvent être que schématiques.

Le premier objectif à atteindre est de dissocier, dans la dysmorphie, la composante chirurgicale basale de la composante orthodontique alvéolodentaire.

À PROPOS D'UNE CLASSE III (fig 4)

Le patient est un adulte venu en consultation pour une dysmorphie classe III hypodivergente associée à une latérogathie mandibulaire droite.

La mandibule réalise un mouvement d'antérotation lors de l'intercuspidation maximale, aggravant d'autant le préjudice esthétique.

La supraclusion incisive supérieure et inférieure est présente.

Les compensations alvéolaires sont importantes au niveau de l'arcade maxillaire.

L'âge, l'importance de la dysmorphie, un syndrome algodysfonctionnel invalidant, invitent le clinicien à proposer une symbiose chirurgico-occluso-orthodontique.

■ Étude de la charpente maxillofaciale

Direction antéropostérieure : vue sagittale

Apparaît le diagramme classique d'une dysmorphie classe III.

Le plan facial au niveau du pentaèdre supérieur correspondant à l'étage orbitaire est vertical et ne plaide pas en faveur d'une forte aplasie de la face moyenne.

Le plan facial au niveau du pentaèdre inférieur est au contraire fortement orienté en avant. L'anomalie se traduit par la fermeture importante de l'angle MSO-MIO-MM projeté dans le plan sagittal moyen de la charpente maxillofaciale : 164°.

Direction transversale : vues frontale et axiale

Le pentaèdre supérieur est équilibré.

Le pentaèdre inférieur amorce une dissymétrie dans sa partie inférieure, reflet de la non-concordance des points interincisifs et de la translation mandibulaire droite ; elle se traduit par la fermeture faible de l'angle MSO-MIO-MM projeté dans le plan facial moyen de la charpente maxillofaciale : 176°.

La symétrie droite gauche de la surface basicrânienne est conservée ; elle se traduit par une orthogonalité des « axes de symétrie » qui la divisent, projetés dans le plan axial moyen de la charpente maxillofaciale.

■ Plans d'arcade

Direction antéropostérieure : vue sagittale

On note la convergence des plans d'arcade maxillaire et mandibulaire en avant, liée à la faiblesse des contacts occlusaux antérieurs. La convergence correspond à une forte obliquité du plan maxillaire qui se traduit par une ouverture postérieure calculée à -10° de l'angle défini par les axes d'inertie ventrodorsaux des arcades projetés dans le plan sagittal moyen de la charpente maxillofaciale.

La classe III se traduit par le fort décalage : 9,9 mm des centres de gravité des arcades projetés sur l'axe des Y du repère orthonormé direct de la charpente maxillofaciale.

En fonction de l'obliquité spécifique de chaque arcade et de la ligne du sourire, le logiciel « Guide du chirurgien » calcule les quantités d'impaction, d'épaction et de bascule, afin d'obtenir en fin de programme opératoire le parallélisme des plans d'arcade maxillaire et mandibulaire.

Direction transversale : vue frontale

On retient surtout le décalage des centres de gravité (centre de gravité de l'arcade mandibulaire déporté à droite). Le décalage faible est calculé à 2,6 mm lorsque les centres de gravité sont projetés sur l'axe des X du repère orthonormé direct de la charpente maxillofaciale.

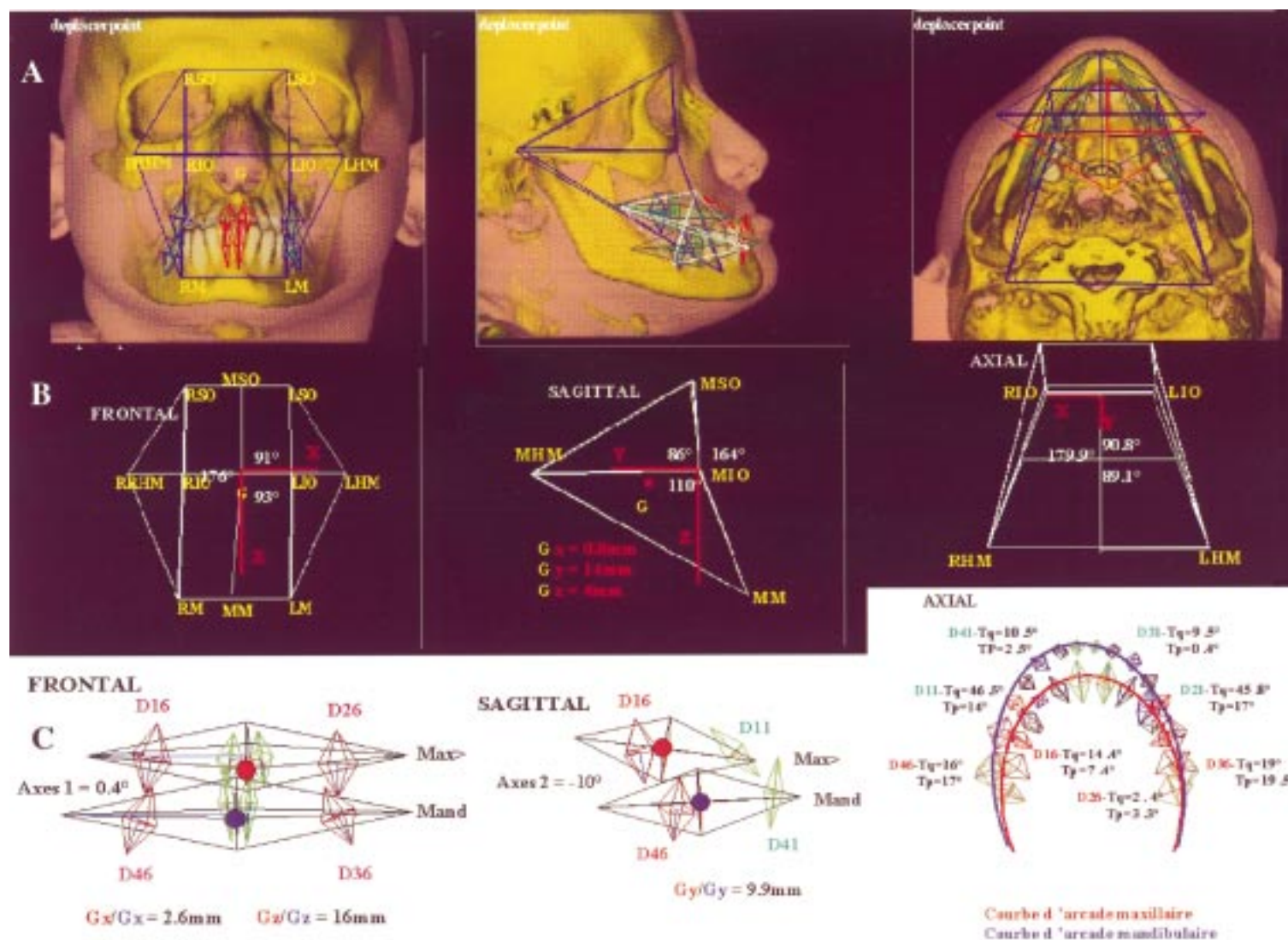
Il n'y a pas de bascule transversale des arcades maxillaire et mandibulaire qui restent parallèles dans le plan frontal, la valeur de l'angle défini par les axes d'inertie transversaux des arcades projetés dans le plan facial moyen de la charpente maxillofaciale est de 0,4°.

■ Système dentaire

Ces données constituent une aide pratique pour l'orthodontiste qui doit préparer la meilleure congruence des arcades en assurant une destruction des compensations alvéolaires dans le sens transversal et antéropostérieur.

Direction transversale

Les compensations de la latérogathie se manifestent surtout au niveau maxillaire : torque coronovestibulaire de 16 et torque coronopalatin de 26.



4 Classe III.

A. (Ligne du haut.) Imagerie et modèle 3D. Vues frontale, sagittale et axiale inférieure.

B. (Ligne intermédiaire.) Charpente maxillofaciale. Vues frontale, sagittale et axiale inférieure : calcul de la valeur des angles définis par les axes qui divisent les surfaces faciale F, axiale H et sagittale S projetés sur les plans moyens facial F', axial H' et sagittale S'. Ces valeurs angulaires quantifient le degré d'asymétrie droite-gauche et de déséquilibre vertical et antéropostérieur des trois surfaces F, H et S de la charpente maxillofaciale.

C. (Ligne inférieure.) Arcades dentaires. Vues frontale et sagittale : calcul de la valeur des angles définis par les axes d'inertie des arcades projetés sur les plans moyens F', H' et S' de la charpente maxillofaciale. Distances calculées entre les centres de gravité des arcades maxillaire et mandibulaire projetés sur les axes du repère orthonormé direct de la charpente maxillofaciale. Ces valeurs angulaires et de distances quantifient le degré de décalage et de rotation dans les différents sens de l'espace d'une arcade par rapport à l'autre.

Dents et courbes d'arcades : calcul du torque et du tipping des dents maxillaires et mandibulaires.

Direction antéropostérieure

Les compensations de classe III se manifestent surtout au niveau antérieur par le torque coronovestibulaire des incisives supérieures. En revanche, le torque coronovestibulaire léger des incisives inférieures est lié à l'articulé inversé.

À PROPOS D'UNE CLASSE II ASYMÉTRIE (fig 5)

Il s'agit d'une adulte venue en consultation pour une dysmorphie classe II, division I, asymétrie faciale, latérogathie mandibulaire gauche (fig 5A).

■ Étude de la charpente maxillofaciale

Analyse des surfaces

• Surface basicrânienne

Elle est peu modifiée. Elle est globalement plane et horizontale. Elle conserve sa forme trapézoïdale et une symétrie droite-gauche

satisfaisante qui se traduit par une orthogonalité des angles définis par les « axes de symétrie » qui la divisent. La normalité de ce plan témoigne de l'absence de participation de la base du crâne à la dysmorphie.

• Surface faciale

Direction antéropostérieure.

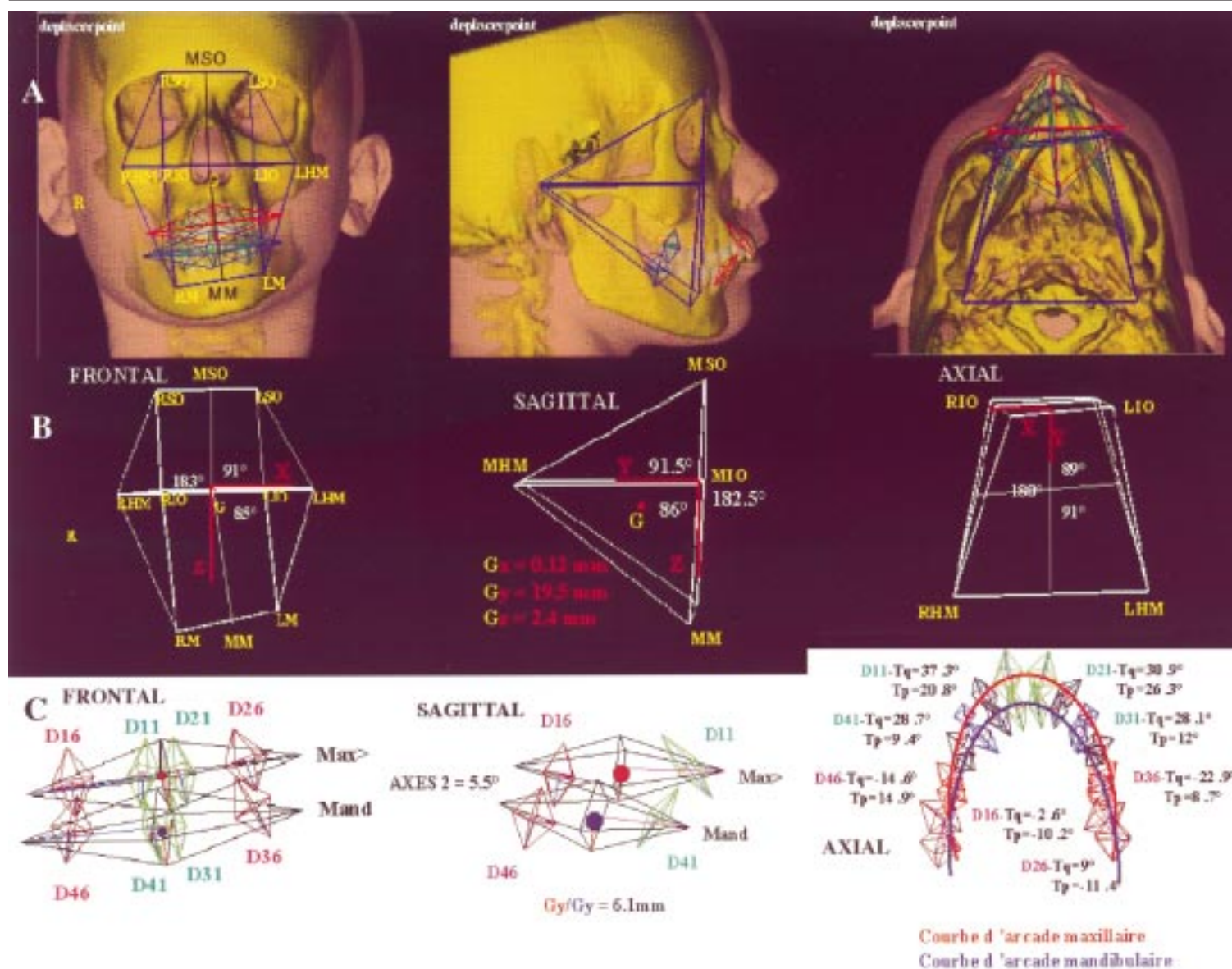
Dans les classes II, le plan facial a tendance à devenir convexe. Cette convexité se traduit par une ouverture de l'angle MSO-MIO-MM projeté dans le plan sagittal moyen de la charpente maxillofaciale : 182,5°.

La classe II est majorée par une forte composante alvéolaire maxillaire : il s'agit plus d'une proalvéolie maxillaire que d'une rétrognathie mandibulaire.

Le décalage des lignes du polyèdre inférieur est la conséquence de la bascule de la mandibule dans le sens transversal et de la postéro-rotation asymétrique de sens antihoraire sur la vue axiale inférieure.

Direction transversale.

La surface faciale supérieure, orbitaire, est peu modifiée.



5 Classe II.

A. (Ligne du haut.) Imagerie et modèle 3D. Vues frontale, sagittale et axiale inférieure.

B. (Ligne intermédiaire.) Charpente maxillofaciale. Vues frontale, sagittale et axiale inférieure : calcul de la valeur des angles définis par les axes qui divisent les surfaces faciale F, axiale H et sagittale S projetés sur les plans moyens facial F', axial H' et sagittal S'. Ces valeurs angulaires quantifient le degré d'asymétrie droite-gauche et de déséquilibre vertical et antéro-postérieur des trois surfaces F, H et S de la charpente maxillofaciale.

C. (Ligne inférieure.) Arcades dentaires. Vues frontale et sagittale : calcul de la valeur des angles définis par les axes d'inertie des arcades projetés sur les plans moyens F', H' et S' de la charpente maxillofaciale. Distances calculées entre les centres de gravité des arcades maxillaire et mandibulaire projetés sur les axes du repère orthonormé direct de la charpente maxillofaciale. Ces valeurs angulaires et de distances quantifient le degré de décalage et de rotation dans les différents sens de l'espace d'une arcade par rapport à l'autre.

Les dents et les courbes d'arcades : calcul du torque et du tipping des dents maxillaires et mandibulaires.

La surface faciale inférieure, en revanche, est fortement perturbée. La latérogathie gauche se traduit par une forte fermeture de l'angle LIO-MIO-MM : 85° projeté dans le plan facial moyen de la charpente maxillofaciale.

■ Plans d'arcade

Direction transversale : vue frontale

Bascule des arcades maxillaire et mandibulaire qui suivent la bascule de la mandibule mais dont les axes d'inertie transversaux conservent un certain degré de parallélisme. La valeur de l'angle défini par les axes d'inertie principaux projetés dans le plan facial moyen de la charpente maxillofaciale est mesuré à $-1,5^\circ$ (la valeur négative de l'angle est donnée par convention aux angles ouverts à gauche).

La faible rotation ou translation de l'arcade mandibulaire par rapport à l'arcade maxillaire se traduit par un faible décalage des centres de gravité projetés sur l'axe des X du repère orthonormé direct : 1,4 mm.

Direction antéro-postérieure : vue sagittale

La forte bascule du plan mandibulaire se traduit par une ouverture antérieure de l'angle défini par les axes d'inertie ventrodorsaux des arcades projetés dans le plan sagittal médian de la charpente maxillofaciale : $5,5^\circ$. (La valeur positive est donnée par convention aux angles ouverts vers l'avant.) Cette bascule est la conséquence de la postéro-rotation mandibulaire évoquant l'image classique de l'effet des tractions intermaxillaires de classe II.

La classe II se traduit également par un fort décalage des centres de gravité projetés sur l'axe des Y du repère orthonormé direct de la charpente maxillofaciale : 6,1 mm.

■ Système dentaire

Direction transversale

On note surtout les torques coronolinguaux des molaires mandibulaires, compensations de l'endoalvéolie maxillaire associée.

Direction antéropostérieure

On retient les compensations de classe II, très importantes au niveau molaire : *Tip forward* de 36 et 46, *Tip back* de 16 et 26, et au niveau incisif mandibulaire, un torque coronovestibulaire très accusé.

En revanche, les incisives maxillaires échappent à tout contrôle occlusal et ont un torque coronovestibulaire important, image de la classe II division I et des dysfonctions associées.

Conclusion

L'analyse de Treil constitue une nouvelle approche de la biométrie 3D, au service de l'orthodontiste et du chirurgien. La coexistence « os alvéolaire-os basal » devient réalité.

Pour le chirurgien maxillofacial, par une manipulation simplifiée et ludique, la visualisation globale et précise des sites pathologiques est immédiate.

Le plan basicrânien, pierre d'achoppement souvent oubliée, apparaît comme la base de construction indispensable au futur édifice chirurgical reconstruit.

Un logiciel « Guide du chirurgien » permet de codifier la stratégie thérapeutique. Les mouvements à transmettre aux structures osseuses peuvent être simulés et quantifiés.

Pour l'orthodontiste, le volume, la forme des arcades se dessinent avec les anomalies de torque et de tipping.

La thérapeutique orthodontique peut ainsi être parfaitement définie et individualisée avec la prise en compte souvent oubliée de l'épaisseur des corticales venant limiter certains mouvements intempestifs.

Références

- [1] Basin HN, George JC. A comparison of two computer cephalometric programs. *J Clin Orthod* 1997; 31 : 231-233
- [2] Behrents RG, Johnston LE. The influence of trigeminal nerve on facial growth and development. *Am J Orthod* 1984; 85 : 199-206
- [3] Benzecri JP. Axes d'inertie et ACP. Pratique de l'analyse des données. Paris : Dunod, 1980 : 20-61
- [4] Bookstein FL. Size and shape spaces for landmark data in two dimensions. *Statist Sci* 1986; 1 : 181-242
- [5] Borianne P, Jaeger M. Matrice de dispersion et axes d'inertie de nuages de points. Communication interne. CIRAD, 1996
- [6] Boucays F, Madrid C, Borianne P, Casteigt J, Jaeger M. Approche statistique de la céphalométrie de Treil. *Biom Hum Anthropol* 1998; 16 : 67-76
- [7] Bourriau J, Cabot I, Foucart JM. Téléradiographie. *Encycl Méd Chir* (Éditions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris), Odontologie, 23-455-E-10, 1999 : 1-9
- [8] Cabanis E. L'IRM en ophtalmologie : introduction. Rapport annuel du Conseil de l'université d'Aix-Marseille, 1992 ; 110-128
- [9] Castro M. Mensurations et rapports céphalométriques verticaux aux âges orthodontiques. *Perspect Orthod* 1995; (n° nov-déc) : 3-8
- [10] Cline HE. Two algorithms for the three dimensional reconstruction of tomograms. *Med Phys* 1988; 3 : 320-327
- [11] Delaire J. Quelques pièges dans l'interprétation des téléradiographies céphalométriques. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 1984; 85 : 176-185
- [12] Delaire J. L'équilibre architectural en chirurgie maxillo-faciale et en chirurgie orthognathique. *Orthod Fr* 1985; 56 : 353-364
- [13] Delattre R, Fenart R. Étude des projections horizontales et vertico-frontales du crâne au cours de l'homínisation. *Anthropologie* 1963; 67 : 85-114, 301-346, 525-562
- [14] Forsyth DH, Shaw WC, Richmond S, Roberts CT. Digital imaging of cephalometric radiography, part 2: image quality. *Angle Orthod* 1996; 66 : 43-50
- [15] Halazonetis JD. Computer-assisted cephalometric analysis. *Am J Orthod* 1994; 105 : 517-521
- [16] Kendall DG. A survey of the statistical theory of shape. *Statist Sci* 1989; 4 : 87-120
- [17] Madrid C, Treil J, Casteigt J, Courtois B. Une nouvelle analyse céphalométrique à partir de reconstruction 3D : étude pilote à partir de 95 sujets. *Cah Anthropol Biom Hum* 1997; 15 : 143-150
- [18] Moss ML, Rankow RM. The role of the functional matrix in facial growth. *Angle Orthod* 1969; 38 : 95-102
- [19] Pertuzon B, Pruvo JP, Pellerin P, Ferri J, Piral T, Fenart R. Technique de l'orientation vestibulaire par image numérique. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 1995; 96 : 209-213
- [20] Saborido S, Cacho A. A different way of record reproduction for use in computerized programs. *Am J Orthod* 1996; 110 : 562-565
- [21] Sadowsky PL, Jacobson A. A comparative cephalometric analysis of South African adult caucasoids. *J Dent Assoc S Afr* 1973; 28 : 274-276
- [22] Schwartz D. Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. Paris : (4^e édition), 112-113
- [23] Steiner CC. Cephalometric for you and me. *Am J Orthod* 1953; 39 : 729-737
- [24] Stricker M, Raphael B, Gerard H. Croissance cranio-faciale. Reims : Morfos, 1993; 43-95
- [25] Treil J, Casteigt J, Borianne PH, Madrid C, Jaeger M, De Bonnacaze PH. L'équilibre architectural de la face : un concept céphalométrique 3D. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 1999; 100 : 111-122
- [26] Treil J, Casteigt J, Escude B. Intérêt de l'imagerie 3D dans le bilan pré-chirurgical des dysmorphoses maxillo-faciales. *Radiol J Cepur* 1992; 12 : 20-25
- [27] Treil J, Casteigt J, Jaeger M, Cavezian R. La charpente maxillo-mandibulaire : nouvelle approche cranio-facio-métrique tridimensionnelle. *Actual Odontostomatol* 1993; 188 : 627-637
- [28] Treil J, Casteigt J, Madrid C, Borianne P. Une nouvelle construction céphalométrique tridimensionnelle. un nouveau paramétrage d'analyse tridimensionnel : les axes d'inertie. Un nouveau concept de l'équilibre maxillo-facial. *Orthod Fr* 1997; 68 : 171-181
- [29] Treil J, Casteigt J, Roch P, Puech CH, Cavezian R. Imagerie 3D des dysmorphoses maxillo-faciales. *Orthod Fr* 1994; 64 : 295-308
- [30] Treils J, Bou P, Casteigt J, Borianne P, Madrid C, Pomar P et al. L'architecture cranio-faciale chez l'homme. In : l'identité humaine en question. Paris : Artcom, 1999 : 285-296.
- [31] Treil J, Madrid C, Jaeger M, Casteigt J, Borianne P. Biométrie tridimensionnelle maxillo-faciale. *Cah Anthropol Biom Hum* 1997; 15 : 65-73
- [32] Vannier MW, Marsh JL, Warren JO. Three dimensional CT reconstruction images for cranio-facial surgical planning and evaluation. *Radiology* 1984; 150 : 179-184
- [33] Vion PE. Anatomie céphalométrique. Paris : SID, 1996