

**UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER**  
**FACULTÉS DE MÉDECINE**

---

ANNÉE 2015

2015 TOU3 1584

**THÈSE**

**POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE**  
**MÉDECINE SPÉCIALISÉE CLINIQUE**

Présentée et soutenue publiquement

par

**Barbara LERHE épouse PINTO**

le 9 octobre 2015

Ostéométrie tomographique de l'os zygomatique sur tomodensitométrie et cone beam appliquée à la traumatologie du massif facial : étude préliminaire rétrospective sur 28 patients du CHU de Toulouse

Directeur de thèse : Pr Frédéric LAUWERS

**JURY**

Monsieur le Professeur Franck BOUTAULT	Président
Monsieur le Professeur Bernard DEVAUCHELLE	Assesseur
Monsieur le Professeur Jean-Louis GROLLEAU-RAOUX	Assesseur
Monsieur le Professeur Frédéric LAUWERS	Assesseur
Monsieur le Docteur Raphaël LOPEZ	Suppléant
Monsieur le Docteur Michel GIGAUD	Invité



**TABLEAU du PERSONNEL HU**  
**des Facultés de Médecine de l'Université Paul Sabatier**  
**au 1<sup>er</sup> septembre 2014**

**Professeurs Honoraires**

Doyen Honoraire	M. ROUGE D.	Professeur Honoraire	M. SALVADOR M.
Doyen Honoraire	M. LAZORTHES Y.	Professeur Honoraire	M. BAYARD
Doyen Honoraire	M. CHAP H.	Professeur Honoraire	M. LEOPHONTE
Doyen Honoraire	M. GUIRAUD-CHAUMEIL B	Professeur Honoraire	M. FABIÉ
Professeur Honoraire	M. COMMANAY	Professeur Honoraire	M. BARTHE
Professeur Honoraire	M. CLAUDX	Professeur Honoraire	M. CABARROT
Professeur Honoraire	M. ESCHAPASSE	Professeur Honoraire	M. DUFFAUT
Professeur Honoraire	Mme ENJALBERT	Professeur Honoraire	M. ESCAT
Professeur Honoraire	M. GEDEON	Professeur Honoraire	M. ESCANDE
Professeur Honoraire	M. PASQUIE	Professeur Honoraire	M. PRIS
Professeur Honoraire	M. RIBAUT	Professeur Honoraire	M. CATHALA
Professeur Honoraire	M. ARLET J.	Professeur Honoraire	M. BAZEX
Professeur Honoraire	M. RIBET	Professeur Honoraire	M. VIRENQUE
Professeur Honoraire	M. MONROZIES	Professeur Honoraire	M. CARLES
Professeur Honoraire	M. DALOUS	Professeur Honoraire	M. BONAFÉ
Professeur Honoraire	M. DUPRE	Professeur Honoraire	M. VAYSSE
Professeur Honoraire	M. FABRE J.	Professeur Honoraire	M. ESQUERRE
Professeur Honoraire	M. DUCOS	Professeur Honoraire	M. GUITARD
Professeur Honoraire	M. GALINIER	Professeur Honoraire	M. LAZORTHES F.
Professeur Honoraire	M. LACOMME	Professeur Honoraire	M. ROQUE-LATRILLE
Professeur Honoraire	M. BASTIDE	Professeur Honoraire	M. CERENE
Professeur Honoraire	M. COTONAT	Professeur Honoraire	M. FOURNIAL
Professeur Honoraire	M. DAVID	Professeur Honoraire	M. HOFF
Professeur Honoraire	Mme DIDIER	Professeur Honoraire	M. REME
Professeur Honoraire	M. GAUBERT	Professeur Honoraire	M. FAUVEL
Professeur Honoraire	Mme LARENG M.B.	Professeur Honoraire	M. FREXINOS
Professeur Honoraire	M. BES	Professeur Honoraire	M. CARRIERE
Professeur Honoraire	M. BERNADET	Professeur Honoraire	M. MANSAT M.
Professeur Honoraire	M. GARRIGUES	Professeur Honoraire	M. BARRET
Professeur Honoraire	M. REGNIER	Professeur Honoraire	M. ROLLAND
Professeur Honoraire	M. COMBELLES	Professeur Honoraire	M. THOUVENOT
Professeur Honoraire	M. REGIS	Professeur Honoraire	M. CAHLIZAC
Professeur Honoraire	M. ARBUS	Professeur Honoraire	M. DELSOL
Professeur Honoraire	M. PUJOL	Professeur Honoraire	M. ABBAL
Professeur Honoraire	M. ROCHICCIOLI	Professeur Honoraire	M. DURAND
Professeur Honoraire	M. RUMEAU	Professeur Honoraire	M. DALY-SCHWEITZER
Professeur Honoraire	M. BESOMBES	Professeur Honoraire	M. RAILHAC
Professeur Honoraire	M. GUIRAUD	Professeur Honoraire	M. POURRAT
Professeur Honoraire	M. SUC	Professeur Honoraire	M. QUERLEU D.
Professeur Honoraire	M. VALDIGUIE	Professeur Honoraire	M. ARNE JL
Professeur Honoraire	M. BOUNHORE	Professeur Honoraire	M. ESCOURROU J.
Professeur Honoraire	M. PONTONNIER	Professeur Honoraire	M. FOURTANIER G.
Professeur Honoraire	M. CARTON	Professeur Honoraire	M. LAGARRIGUE J.
Professeur Honoraire	Mme PUEL J.	Professeur Honoraire	M. PESSEY JJ.
Professeur Honoraire	M. GOUZI		
Professeur Honoraire associé	M. DUTAU		
Professeur Honoraire	M. PONTONNIER		
Professeur Honoraire	M. PASCAL		

**Professeurs Émérites**

Professeur LARROUY	Professeur JL. ADER
Professeur ALBAREDE	Professeur Y. LAZORTHES
Professeur CONTÉ	Professeur L. LARENG
Professeur MURAT	Professeur F. JOFFRE
Professeur MANELFE	Professeur J. CORBERAND
Professeur LOUVET	Professeur B. BONEU
Professeur SARRAMON	Professeur H. DABERNAT
Professeur CARATERO	Professeur M. BOCCALON
Professeur GUIRAUD-CHAUMEIL	Professeur B. MAZIERES
Professeur COSTAGLIOLA	Professeur E. ARLET-SUAU
	Professeur J. SIMON

P.U. - P.H. Classe Exceptionnelle et 1ère classe		P.U. - P.H. 2ème classe	
M. ADOUE D.	Médecine Interne, Gériatrie	Mme BEYNE-RALZY O.	Médecine Interne
M. AMAR J.	Thérapeutique	M. BIRMES Ph.	Psychiatrie
M. ATTAL M. (C.E)	Hématologie	M. BROUCHET L.	Chirurgie thoracique et cardio-vascul
M. AVET-LOISEAU H	Hématologie, transfusion	M. BUREAU Ch	Hépat-Gastro-Entéro
M. BLANCHER A.	Immunologie (option Biologique)	M. CALVAS P.	Génétique
M. BONNEVILLE P.	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie.	M. CARRERE N.	Chirurgie Générale
M. BOSSAVY J.P.	Chirurgie Vasculaire	Mme CASPER Ch.	Pédiatrie
M. BRASSAT D.	Neurologie	M. CHAIX Y.	Pédiatrie
M. BROUSSET P. (C.E)	Anatomie pathologique	Mme CHARPENTIER S.	Thérapeutique, méd. d'urgence, addict
M. BUGAT R. (C.E)	Cancérologie	M. COGNARD C.	Neuroradiologie
M. CARRIE D.	Cardiologie	M. DE BOISSEZON X.	Médecine Physique et Réadapt Fond.
M. CHAP H. (C.E)	Biochimie	M. FOURNIE B.	Rhumatologie
M. CHAUVEAU D.	Néphrologie	M. FOURNIÉ P.	Ophthalmologie
M. CHOLLET F. (C.E)	Neurologie	M. GAME X.	Urologie
M. CLANET M. (C.E)	Neurologie	M. GEERAERTS T.	Anesthésiologie et réanimation chir.
M. DAHAN M. (C.E)	Chirurgie Thoracique et Cardiaque	Mme GENESTAL M.	Réanimation Médicale
M. DEGUINE O.	O. R. L.	M. LAROCHE M.	Rhumatologie
M. DUCOMMUN B.	Cancérologie	M. LAUWERS F.	Anatomie
M. FERRIERES J.	Epidémiologie, Santé Publique	M. LEOBON B.	Chirurgie Thoracique et Cardiaque
M. FOURCADE O.	Anesthésiologie	M. MAZIERES J.	Pneumologie
M. FRAYSSE B. (C.E)	O.R.L.	M. MOLINIER L.	Epidémiologie, Santé Publique
M. IZOPET J. (C.E)	Bactériologie-Virologie	M. OLIVOT J-M	Neurologie
Mme LAMANT L.	Anatomie Pathologique	M. PARANT O.	Gynécologie Obstétrique
M. LANG T.	Biostatistique Informatique Médicale	M. PARIENTE J.	Neurologie
M. LANGIN D.	Nutrition	M. PATHAK A.	Pharmacologie
M. LAUQUE D. (C.E)	Médecine Interne	M. PAUL C.	Dermatologie
M. LIBLAU R. (C.E)	Immunologie	M. PAYOUX P.	Biophysique
M. MAGNAVAL J.F.	Parasitologie	M. PAYRASTRE B.	Hématologie
M. MALAVAUD B.	Urologie	M. PORTIER G.	Chirurgie Digestive
M. MANSAT P.	Chirurgie Orthopédique	M. PERON J.M.	Hépat-Gastro-Entérologie
M. MARCHOU B.	Maladies Infectieuses	M. RONCALLI J.	Cardiologie
M. MONROZIES X.	Gynécologie Obstétrique	M. SANS N.	Radiologie
M. MONTASTRUC J.L. (C.E)	Pharmacologie	Mme SAVAGNER F.	Biochimie et biologie moléculaire
M. MOSCOVICI J.	Anatomie et Chirurgie Pédiatrique	Mme SELVES J.	Anatomie et cytologie pathologiques
Mme MOYAL E.	Cancérologie	M. SOL J-Ch.	Neurochirurgie
Mme NOURHASHEMI F.	Gériatrie		
M. OLIVES J.P. (C.E)	Pédiatrie		
M. OSWALD E.	Bactériologie-Virologie		
M. PARINAUD J.	Biol. Du Dévelop. et de la Reprod.		
M. PERRET B (C.E)	Biochimie		
M. PRADERE B. (C.E)	Chirurgie générale		
M. RASCOL O.	Pharmacologie		
M. RECHER Ch.	Hématologie		
M. RISCHMANN P. (C.E)	Urologie		
M. RIVIERE D. (C.E)	Physiologie		
M. SALES DE GAUZY J.	Chirurgie Infantile		
M. SALLES J.P.	Pédiatrie		
M. SERRE G. (C.E)	Biologie Cellulaire		
M. TELMON N.	Médecine Légale		
M. VINEL J.P. (C.E)	Hépat-Gastro-Entérologie		
		P.U.	
		M. OUSTRIC S.	Médecine Générale

P.U. - P.H. Classe Exceptionnelle et 1ère classe		P.U. - P.H. 2ème classe	
M. ACAR Ph.	Pédiatrie	M. ACCADBLE F.	Chirurgie infantile
M. ALRIC L.	Médecine Interne	Mme ANDRIEU S.	Epidémiologie
M. ARLET Ph. (C.E)	Médecine Interne	M. ARBUS Ch.	Psychiatrie
M. ARNAL J.F.	Physiologie	M. BERRY A.	Parasitologie
Mme BERRY I.	Biophysique	M. BONNEVILLE F.	Radiologie
M. BOUTAULT F. (C.E)	Stomatologie et Chirurgie Maxillo-Faciale	M. BIJAN L.	Uro-Andrologie
M. BUSCAL L.	Hépatogastro-Entérologie	Mme BURA-RIVIERE A.	Médecine Vasculaire
M. CANTAGREL A.	Rhumatologie	M. CHAYNES P.	Anatomie
M. CARON Ph. (C.E)	Endocrinologie	M. CHAUFOUR X.	Chirurgie Vasculaire
M. CHAMONTIN B. (C.E)	Thérapeutique	M. CONSTANTIN A.	Rhumatologie
M. CHAVOIN J.P. (C.E)	Chirurgie Plastique et Reconstructive	M. DELOBEL P.	Maladies Infectieuses
M. CHIRON Ph.	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie	Mme DULY-BOUHANICK B.	Thérapeutique
Mme COURTADE SAIDI M.	Histologie Embryologie	M. COURBON	Biophysique
M. DELABESSE E.	Hématologie	M. DAMBRIN C.	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire
Mme DELISLE M.B. (C.E)	Anatomie Pathologie	M. DECRAMER S.	Pédiatrie
M. DIDIER A.	Pneumologie	M. DELORD JP.	Cancérologie
M. ELBAZ M.	Cardiologie	M. GALINIER Ph.	Chirurgie infantile
M. GALINIER M.	Cardiologie	M. GARRIDO-STÓWHAS I.	Chirurgie Plastique
M. GERAUD G.	Neurologie	Mme GOMEZ-BROUCHET A.	Anatomie Pathologique
M. GLOCK Y.	Chirurgie Cardio-Vasculaire	M. GROLLEAU RAOUX J.L.	Chirurgie plastique
M. GOURDY P.	Endocrinologie	Mme GUIMBAUD R.	Cancérologie
M. GRAND A. (C.E)	Epidémi. Eco. de la Santé et Prévention	M. HUYGHE E.	Urologie
Mme HANAIRE H. (C.E)	Endocrinologie	M. LAFOSSE JM.	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie
M. KAMAR N.	Néphrologie	M. LEGUEVAQUE P.	Chirurgie Générale et Gynécologique
M. LARRUE V.	Neurologie	M. MARCHEIX B.	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
M. LAURENT G. (C.E)	Hématologie	M. MARGUE Ph.	Médecine Physique et Réadaptation
M. LEVADE T.	Biochimie	Mme MAZEREEUW J.	Dermatologie
M. MALECAZE F. (C.E)	Ophthalmologie	M. MINVILLE V.	Anesthésiologie Réanimation
Mme MARTY N.	Bactériologie Virologie Hygiène	M. MUSCARI F.	Chirurgie Digestive
M. MASSIP P.	Maladies Infectieuses	M. OTAL Ph.	Radiologie
M. PLANTE P.	Urologie	M. ROLLAND Y.	Gériatrie
M. RAYNAUD J-Ph.	Psychiatrie Infantile	M. ROUX F.E.	Neurochirurgie
M. RITZ P.	Nutrition	M. SAILLER L.	Médecine Interne
M. ROCHE H. (C.E)	Cancérologie	M. SOULAT J.M.	Médecine du Travail
M. ROSTANG L. (C.E)	Néphrologie	M. TACK I.	Physiologie
M. ROUGE D. (C.E)	Médecine Légale	M. VAYSSIERE Ch.	Gynécologie Obstétrique
M. ROUSSEAU H.	Radiologie	M. VERGIEZ S.	O.R.L.
M. SALVAYRE R. (C.E)	Biochimie	Mme URO-COSTE E.	Anatomie Pathologique
M. SCHMITT L. (C.E)	Psychiatrie		
M. SENARD J.M.	Pharmacologie		
M. SERRANO E. (C.E)	O. R. L.		
M. SOULIE M.	Urologie		
M. SUC B.	Chirurgie Digestive		
Mme TAUBER M.T.	Pédiatrie		
M. VELLAS B. (C.E)	Gériatrie		

Professeur Associé de Médecine Générale  
Dr VIDAL M.  
Professeur Associé en O.R.L.  
WOISARD V.

M.C.U. - P.H.		M.C.U. - P.H.	
M. APOIL P. A.	Immunologie	Mme ABRAVANEL F.	Bactériologie, Virologie Hygiène
Mme ARNAUD C.	Epidémiologie	M. BES J.C.	Histologie - Embryologie
M. BIETH E.	Génétique	M. GAMBUS J.P.	Hématologie
Mme BONGARD V.	Epidémiologie	Mme CANTERO A.	Biochimie
Mme CASPAR BAUGUIL S.	Nutrition	Mme CARFAGNA L.	Pédiatrie
Mme CASSAING S.	Parasitologie	Mme CASSOL E.	Biophysique
Mme CONCINA D.	Anesthésie-Réanimation	Mme CAUSSE E.	Biochimie
M. CONGY N.	Immunologie	M. CHASSAING N.	Génétique
Mme COURBON	Pharmacologie	Mme CLAVE D.	Bactériologie Virologie
Mme DAMASE C.	Pharmacologie	M. CLAVEL C.	Biologie Cellulaire
Mme de GLIBSEZSKY I.	Physiologie	Mme COLLIN L.	Cytologie
Mme DELMAS C.	Bactériologie Virologie Hygiène	M. CORRE J.	Hématologie
Mme DE-MAS V.	Hématologie	M. DEDOUIT F.	Médecine Légale
M. DUBOIS D.	Bactériologie Virologie Hygiène	M. DELPLA P.A.	Médecine Légale
Mme DUGUET A.M.	Médecine Légale	M. DESPAS F.	Pharmacologie
M. DUPUI Ph.	Physiologie	M. EDOUARD T.	Pédiatrie
Mme FILLAUX J.	Parasitologie	Mme ESQUIROL Y.	Médecine du travail
M. GANTET P.	Biophysique	Mme ESCOURROU G.	Anatomie Pathologique
Mme GENNERO I.	Biochimie	Mme GALINIER A.	Nutrition
Mme GENOUX A.	Biochimie et biologie moléculaire	Mme GARDETTE V.	Epidémiologie
M. HAMDI S.	Biochimie	M. GASQ D.	Physiologie
Mme HITZEL A.	Biophysique	Mme GRARE M.	Bactériologie Virologie Hygiène
M. IRIART X.	Parasitologie et mycologie	Mme GUILBEAU-FRUGIER C.	Anatomie Pathologique
M. JALBERT F.	Stomato et Maxillo Faciale	Mme GUYONNET S.	Nutrition
M. KIRZIN S.	Chirurgie générale	Mme INGUENEAU C.	Biochimie
Mme LAPEYRE-MESTRE M.	Pharmacologie	M. LAHARRAGUE P.	Hématologie
M. LAURENT C.	Anatomie Pathologique	M. LAIREZ O.	Biophysique et médecine nucléaire
Mme LE TINNIER A.	Médecine du Travail	M. LEANDRI R.	Biologie du dével. et de la reproduction
M. LOPEZ R.	Anatomie	M. LEPAGE B.	Biostatistique
M. MONTOYA R.	Physiologie	Mme MAUPAS F.	Biochimie
Mme MOREAU M.	Physiologie	M. MIEUSSET R.	Biologie du dével. et de la reproduction
Mme NOGUEIRA M.L.	Biologie Cellulaire	Mme PERIQUET B.	Nutrition
M. PILLARD F.	Physiologie	Mme NASR N.	Neurologie
Mme PRERE M.F.	Bactériologie Virologie	Mme PRADOAUDE F.	Physiologie
Mme PUISSANT B.	Immunologie	M. RIMALHO J.	Anatomie et Chirurgie Générale
Mme RAGAB J.	Biochimie	M. RONGIERES M.	Anatomie - Chirurgie orthopédique
Mme RAYMOND S.	Bactériologie Virologie Hygiène	Mme SOMMET A.	Pharmacologie
Mme SABOURDY F.	Biochimie	M. TKACZUK J.	Immunologie
Mme SAUNE K.	Bactériologie Virologie	M. VALLET P.	Physiologie
M. SILVA SIFONTES S.	Réanimation	Mme VEZZOSI D.	Endocrinologie
M. SOLER V.	Ophthalmologie		
M. TAFANI J.A.	Biophysique		
M. TREINER E.	Immunologie		
Mme TREMOLLIÈRES F.	Biologie du développement		
M. TRICCOIRE J.L.	Anatomie et Chirurgie Orthopédique		
M. VINCENT C.	Biologie Cellulaire		
			<b>M.C.U.</b>
		M. BISMUTH S.	Médecine Générale
		Mme ROUGE-BUGAT ME	Médecine Générale
		Mme ESCOURROU B.	Médecine Générale

Maîtres de Conférences Associés de Médecine Générale

Dr STILLMUNKES A.  
Dr BRILLAC Th.  
Dr ABITTEBOUL Y.  
Dr CHICOULAA B.

Dr BISMUTH M  
Dr BOYER P.  
Dr ANE S.

*A mon père tant aimé et regretté, ma si douce lumière quand je n'ai plus le courage, mon inspiration quand je n'y crois plus, ma force d'âme quand la vie dit d'avancer...*

*Tu n'as pas eu le temps de me voir évoluer dans cette belle spécialité. J'espère que tu es toujours aussi fier de ta fille, comme lorsque tu regardais mes bulletins de notes, lorsque tu m'attendais les midis en rentrant de l'école, lorsque je faisais semblant d'aimer la pêche et la cueillette des champignons pour t'accompagner, et surtout lorsque tu t'es dit que j'allais être médecin... Continue d'éclairer ma route, elle est parfois si difficile...*

*Tu me manques papa. Kocham Cięna zawsze.*

*„Soit A un succès dans la vie. Alors  $A = x + y + z$ , où  $x =$  travailler,  $y =$  s'amuser,  $z =$  se taire.” Albert Einstein.*

## REMERCIEMENTS

**A mon époux Jean**, pour son amour, sa patience, sa gentillesse, sa grandeur d'âme, sa bonne humeur surtout quand je me transforme en une allégorie du pessimisme.

Souviens toi, c'est l'histoire d'un beau brun encagoulé qui me montre son hémiface gauche dans un sas de bloc de chirurgie maxillo-faciale un lundi après-midi. C'est l'histoire d'un coup de foudre en une fraction de seconde. Bref... On connaît la jolie suite !

Tu es arrivé dans ma vie dans un moment de doute. Comme j'ai eu raison de croire les *Desperate Housewives* ! « Nous sommes tous à la recherche de cette personne unique qui nous apportera ce qui nous manque dans notre vie. Et si on ne parvient pas à la trouver, on n'a plus qu'à prier pour que ce soit elle qui nous trouve... » Merci Gabrielle, merci Bree pour cette vérité générale ! Jean existe et on s'est trouvé ! Merci O.D.I.L.E et Antoine (dit récemment Antoch') pour avoir créé un homme si exceptionnel ! Merci le destin de nous avoir unis !

Jean, tu es mon rayon de soleil, ma vitamine C. Ton amour et ton soutien valent tout l'or du monde. Je me demanderai toujours comment tu fais pour supporter mon caractère, mes questions incessantes, et mon travail. (Rassure toi je me demande aussi comment je fais pour supporter un trublion pareil ! Mais le mérite te revient bien plus.)

Jean, tu es mon avenir, mon âme sœur pour l'éternité.

**A ma douce maman**, je suis si fière de toi. Ta force et ton courage font de toi la plus formidable des mamans. Ne jamais baisser les bras, s'obstiner, aller de l'avant, c'est de toi que je tiens ces valeurs.

Tu es toujours là pour écouter mes craintes depuis ma tendre enfance. Ta main a sans cesse soutenu la mienne. J'ai toujours été dans tes jupons (je le suis sûrement encore), toi qui a passé tant de temps à me faire jouer, à me faire réciter mes leçons, à me pousser à me cultiver, à faire du sport...

Maman, merci pour ton éducation, merci de m'avoir donné une enfance si merveilleuse avec papa, malgré notre famille originale.

Je te vois parfois encore inquiète pour moi, alors je rassemble toutes mes forces pour accomplir de nouveaux exploits et prendre des décisions pour te rendre fière et honorée.

Ce que je suis devenue te revient en grande partie.

**A Monsieur le Professeur Franck Boutault.**

Vous me faites l'honneur de présider ce jury, je vous en exprime toute ma gratitude.

Apprendre pendant ces trois dernières années dans votre service a été passionnant, tant sur le plan pratique que théorique.

Apprendre à vos côtés est une mine d'or : votre rigueur et le rythme précis de vos interventions sont des modèles. Vos élèves ont tous en exemple d'efficacité et de virtuosité vos chirurgies orthognatiques.

Votre bienveillance pendant mon internat, vos conseils sincères et votre aide me rendront reconnaissante à jamais. Du fond du cœur, merci pour tout ce que vous avez fait pour moi.

Votre retraite bien méritée de la chefferie de service, me rend déjà nostalgique de votre direction et influence. Soyez assuré de tous mes vœux de bonheur pour cette nouvelle étape de votre vie.

Quant à moi, je ferai en sorte d'être une digne représentante de la qualité de votre Ecole pour les années à venir.



## **A Monsieur le Professeur Frédéric Lauwers.**

Vous m'avez fait l'honneur de diriger ce travail. Ce sujet a été particulièrement intéressant et m'a permis de renouer avec les Sciences fondamentales que sont les mathématiques, la géométrie et les statistiques à travers des interlocuteurs passionnés de l'Université Paul Sabatier.

Grâce à vous pendant cet internat, j'ai pu découvrir avec tous vos encouragements, le monde de la Recherche et m'évertuer à comprendre des notions essentielles dans nos pratiques chirurgicales.

Vous m'avez enseigné l'Anatomie, les principes théoriques de la chirurgie maxillo-faciale et le Rock and Roll.

Vous avez réussi à me donner bien plus de sagesse dans ce que j'entreprends. J'ai rangé définitivement mon poster du Che Guevara et opte plutôt pour les conseils du 14<sup>ème</sup> Dalai Lama : « Souvenez-vous que ne pas obtenir ce que l'on veut peut parfois se révéler un incroyable coup de chance ».

Monsieur le Professeur Lauwers, vous êtes une Légende comme le disent les carabins. Soyez assuré de mon éternelle gratitude pour votre soutien sans faille.

### **A Monsieur le Professeur Bernard Devauchelle.**

A l'heure où j'écris ces lignes, je ne sais pas si vous siègerez dans ce jury ou Madame le Professeur Sylvie Testelin, c'est pourquoi je vous adresse à tous deux, par ces quelques mots mes plus chaleureux remerciements.

Je vous remercie sincèrement de m'avoir accueillie pendant 6 mois dans votre Ecole rayonnante. Apprendre dans votre service restera la plus grande fierté de mon Internat.

Vos idées, votre courage et votre élégance chirurgicale sont des modèles pour l'interne que je suis.

Vous êtes incontestablement un grand Homme de ce siècle, un précurseur dans le domaine de la reconstruction faciale et surtout un Maître en la matière.

Vous guiderez des générations de jeunes chirurgiens par vos techniques. Votre nom sera à jamais gravé dans l'Histoire de notre spécialité.

Je retiendrai aussi de mon passage à Amiens, la notion fondamentale du travail en équipe. Vous avez réussi à créer une famille de chirurgiens qui travaille en symbiose et sans relâche, autour de vous et de Mme le Pr Testelin. Vous avez ce pouvoir et ce charisme de réunir. Tous ensemble, on peut tenter l'impossible et provoquer un succès.

Monsieur le Professeur Devauchelle, soyez assuré de mon respect et de mon envie d'exercer la chirurgie maxillo-faciale à votre manière. Je ne vous remercierai jamais assez de la confiance que vous m'avez accordée et de la gentillesse avec laquelle vous m'avez fait une place dans votre équipe.

### **A Madame le Professeur Sylvie Testelin.**

Un proverbe anglais anonyme dit « le chirurgien doit avoir un œil d'aigle, un cœur de lion et une main de femme ». Vous êtes tout en même temps, la grandeur d'âme et la volonté de transmettre son savoir en plus.

Vous êtes une femme formidable, vous êtes une chirurgienne hors pair.

Votre investissement dans votre carrière est admirable. Votre humanisme l'est aussi. Je ne peux qu'encenser votre force de caractère et votre personnalité. Vous êtes mon exemple, vous êtes aussi une grande Femme de ce siècle.

Vous avez la générosité de transmettre à vos élèves votre Art. Les dizaines d'internes formés par vos soins sont maintenant de très bons chirurgiens. Puissè-je en faire partie.

Du fond du cœur, Sylvie, je vous admire.

**A Monsieur le Professeur Jean-Louis Grolleau.**

Je vous remercie d'avoir accepté de siéger dans ce jury, qui plus est un vendredi en début de soirée. Je suis très honorée de votre présence.

Apprendre avec vous a été un réel plaisir. Vous m'avez fait découvrir avec votre équipe, la philosophie de la chirurgie plastique reconstructrice et esthétique et ses techniques : je suis fière de compter en plus cette corde à mon arc.

Vos interventions sont rigoureuses et efficaces comme un tableau de Maître. Quelques standards dans mes pratiques futures, vous reviendront tels les blépharoplasties et le lifting cervico-facial. Merci pour cet enseignement de grande qualité.

Merci pour vos conseils et votre humour qui m'ont permis de retrouver quelques repères pendant mon dernier semestre d'hiver toulousain

Je suis aussi une grande adepte de votre franc-parler et de la façon dont vous dirigez votre équipe c'est-à-dire avec autant de précision que vos interventions.

Monsieur le Professeur Grolleau, soyez assuré de ma reconnaissance et de mon respect.

## **A Monsieur le Docteur Raphael Lopez.**

Je ne te remercierai jamais assez pour tout ce que tu as fait pour moi pendant cet internat.

La majeure partie de mon savoir dans notre spécialité, je le tiens de toi : des heures passées au bloc avec celui que je qualifierai de mon père de la chirurgie, des consultations à n'en plus finir, des RCP, des visites... Même les gardes du week-end étaient un sacerdoce (8 blocs un samedi !) comme si le destin voulait que j'apprenne avec toi.

Tu prends tes patients en charge admirablement, du début à la fin. Je crois qu'à un moment délicat de mon apprentissage, tu t'es occupé à l'instar de tes patients, de l'intégralité de ma formation scientifique et au bloc opératoire, sous l'égide du Pr Boutault. Ta passion pour ta carrière hospitalo-universitaire et ton aide envers la jeune génération de chirurgiens sont hautement valorisables.

Rien n'a été plus gratifiant que le jour où le talentueux Raphaël Lopez a fait confiance à « Barbie Brune », à tel point que je t'ai laissé m'appeler comme ça pendant 3 ans ! J'ai pourtant passé toute ma scolarité à empêcher mes camarades de m'affubler de ce sobriquet !

Tu fais partie des chirurgiens qui ont eu la « fée Bistouri » au dessus de leur berceau. Ne voudrais-tu pas la rappeler pour moi ?

Quoi qu'il en soit, tu as su me transmettre ton savoir et peut-être tes dons. Ta protection a été un élément clé dans ma formation. Notre discret Raphaël est bien un excellent pédagogue et un homme de valeur.

Merci pour ton compagnonnage dans la rédaction d'article et la relecture de mes travaux. Tu es brillant, c'est indéniable.

Merci également d'avoir écouté mes doutes, mes craintes et mes jérémiades.

Raphaël, sois assuré de ma reconnaissance éternelle et de mon amitié.

## **A Monsieur le Docteur Michel Gigaud.**

Je vous remercie tout d'abord d'avoir accepté de relire cette thèse. Quelle patience !

Vous êtes sans conteste un Homme d'exception, abordable, généreux, cultivé et talentueux.

Je n'ai pas eu la chance d'être votre élève au bloc opératoire, la retraite étant passée avant moi dans votre service...

En revanche, vous êtes le premier chirurgien toulousain que j'ai croisé ! Je me souviens de vous, mi-janvier 2011, au fameux cours expérimental de chirurgie : Mr le Docteur Gigaud et la trépanation. Déjà, vous m'aviez laissé entrevoir vos qualités d'orateur et de pédagogue.

Un an après, je vous ai redécouvert dans le service de Neurochirurgie de Purpan et c'est bien là que j'ai compris toute la richesse de votre personne et l'admiration que vous portent vos élèves chirurgiens et les étudiants en médecine : un chargé de cours respecté et admiré que plusieurs générations de médecins connaissent.

Votre générosité d'enseignement est réputée depuis des années. Vous faites partie des maîtres qui marquent les esprits et dont on parle de manière méliorative. Je suis honorée de faire partie des chirurgiens qui s'assoient à votre table à défaut d'avoir travaillé avec vous autour d'une table d'intervention à têtère de Mayfield. Discuter avec vous est un vrai bonheur : on ne voit jamais le temps passer.

Monsieur Gigaud, soyez assuré de ma sincère amitié et de mon plus grand respect.

**Aux scientifiques qui ont contribué généreusement à ce travail.**

**A Monsieur Thierry Almont.** Merci pour votre disponibilité et votre gentillesse. Et surtout un immense merci pour votre travail statistique. Sans vous, cette thèse n'aurait pas eu cette finalité !

**A Monsieur Sébastien Déjean.** Merci pour votre disponibilité et l'apport de votre précieux savoir mathématique. Heureusement que vous avez répondu présent à mon appel à l'aide car mes vagues souvenirs des années lycée ne m'auraient pas permis de construire si précisément ce référentiel.

## **A toute l'équipe de chirurgie maxillo-faciale.**

**Au Docteur Céline Dekeister.** La deuxième femme formidable que j'ai croisée pendant mon internat, femme de valeur, honnête, franche, dynamique, douce et persévérante. Je te remercie pour ton soutien et tes mots apaisants lorsque j'en avais besoin. Je te remercie de m'avoir fait découvrir ta pratique de la chirurgie maxillo-faciale et de m'avoir fait relativiser la drôle d'idée que j'avais de notre métier. Merci aussi pour tes conseils « fashionista », « make-up » et sorties, car c'est aussi ça la chirurgienne moderne ! Très chère Céline, je t'adore et te souhaite une vie entière de bonheur.

**Au Docteur Florian Nadon,** mon petit Nadoune que j'adore, mon co-interne puis mon chef de clinique. Merci pour ces bons moments de bloc, les congrès et la sortie bateau sur la Côte d'Azur ! J'espère qu'il y aura plein d'autres bons moments et qu'on continuera à rigoler autant ! Bonne chance pour ton installation. Bonne chance à Caro aussi. Tu n'es pas prêt de ne plus entendre parler de moi !!!

**Au Docteur Franck Delanoé.** Merci Francky pour ton aide dans cette thèse, merci pour les bons moments en congrès et les tuyaux que tu m'as donnés au fil des années. Je te souhaite plein de bonnes choses pour ta carrière et dans ta vie personnelle.

**Au Docteur Ambre de Bérail.** Merci pour ton enseignement de la chirurgie pédiatrique.

Aux chirurgiens qui ont quitté le service.

**Au Docteur Florian Jalbert,** lui aussi protégé de la « Fée Bistouri », brillant chirurgien et « Geek » au sens mélioratif du terme. Tes enseignements et ta gentillesse ont marqué mon esprit. Comme beaucoup de nous tous, nous regrettons l'immense pédagogie que tu étais, ton accessibilité et ta bonne humeur des débuts. Merci de m'avoir sauvée de mes galères avec Osirix dans cette thèse. Je te souhaite plein de réussite dans tes nouveaux projets.

**Au docteur Jocelyn Ozeel.** Merci pour tout ce que tu m'as appris. J'ai bien gardé en mémoire certaines de tes célèbres incantations en fin d'intervention : je ne manque jamais de prier Sainte Bétadine !

**Au Docteur Emilie Lhermusier.** Merci pour tes enseignements au bloc et tes potins ! Mon premier balistique de CMF, c'était avec toi !

**Au docteur Xavier Pronost** et ses expressions légendaires. Ton humour n'a pas trouvé d'égal dans ce service. Merci pour tes enseignements.

### **Aux ODF, odontologistes et stomatologues.**

**Au Professeur Maxime Rotenberg** pour sa bonne humeur et son humour. Merci d'avoir répondu à mes questions étranges sur le monde de l'ODF. Entre Tweedistes et Rickettistes, je n'ai toujours pas choisi ma famille...

**Au Docteur Marc Pradines.** Merci pour ta gentillesse. Vive le sport, vive le trekking et le running ! Une passion partagée.

### **Aux anesthésistes de CMF.**

**Au Docteur Françoise Fédacou.** Notre Fédé du pôle céphalique, inimitable, incontournable et indispensable.

**Au Docteur Sandrine Sacrista** que je connais depuis mon stage de neurochirurgie, pour sa douceur, mais aussi sa force de caractère et son professionnalisme.

### **Au Docteur Dominique Concina.**

**Au Docteur François Gaussiat** qui vient nous aider de temps en temps en CMF, plein d'humour et de talent. Une tornade d'efficacité dans un bloc opératoire.

Et n'oublions pas le **Docteur Christine Tissot**, partie vers d'autres horizons. Même les murs de l'internat réclament son retour !

### **A mes co-internes.**

A Cédrik, Samuel, Julie, Marion et Zoé ma petite bichette (je serai toujours là pour toi !).

A Ségo, mon acolyte, ma pote, ma confidente de galère maxillo-faciale. Merci pour tout ma Ségo.

A mes copains DESCO, Florie, Alexandre, Flavie et Mathilde.



### **A toutes les IBODES de CMF.**

Avec une mention spéciale pour nos trois drôles de dames qui assurent avec brio l'instrumentation de nos interventions les plus audacieuses : FloFlo Giroussens, Zaza Maleville et Laëti. Merci à ma Floflo pour sa contribution à mon bonheur personnel.

A celles qui sont parties pour le BU : Soso et la Marine.

A celles qui sont à l'école d'IBODE dont Céline.

### **A toutes les IDE et AS du service et de la consultation.**

Les plus compétentes et les plus jolies de l'hôpital (Pour le « jolies » ce n'est pas moi qui le dis) ! Merci pour tout votre travail indispensable au rayonnement du service, et votre courage et dévouement depuis le déménagement au PPR.

Félicitations aux jeunes mamans : quand je suis partie, il m'a semblé qu'il y avait une épidémie de grossesses.

A toutes les jeunes retraités dont Mimi.

### **Aux secrétaires du service.**

Rose-Marie, merci de m'avoir écoutée dans mes moments de décompensation maniaque ayant provoqué trop souvent des rigolades au secrétariat.

A Marie-T et Myriam, toujours prêtes à rendre service.

### **Aux secrétaires de la consultation.**

Vous aussi, merci d'avoir écouté mes bêtises de fin de journée et d'avoir tapé mes courriers à rallonge du vendredi.

**A Isabelle, notre manipulatrice radio.** Merci de m'avoir aidée avec tous ces cone beams !

**Aux Amiénois**, merci pour ce superbe semestre, un des meilleurs de mon internat.

**Au Docteur Julien Davrou**, plein d'humour, de zénitude, de gentillesse et surtout lui aussi protégé de la « Fée Bistouri ». « Magic Davrou », tu es un surdoué de la jeune génération de chirurgiens, on ne peut que vouloir te ressembler. Merci pour ce semestre génial à tes côtés.

**Au Docteur Stéphanie Dakpé**. Merci pour vos enseignements et l'apprentissage de votre rigueur. Je n'en aurai pu profité que 3 mois car votre vie privée a été marquée par la venue d'un nouveau bonheur. Je vous souhaite toute la réussite que vous méritez dans votre vie personnelle et professionnelle.

**Au Docteur Cécilia Neiva**. Merci pour ta gentillesse, ton accueil et ton accessibilité. Je n'aurais pu profité de tes enseignements que 2 mois pour les mêmes raisons que Stéphanie. Je te présente aussi tous mes vœux de bonheur dans ta vie privée et de réussite dans ta future installation.

**Au Docteur Ghassan Bitar**, l'un des chirurgiens les plus gentils de la Terre et surtout un brillant opérateur. Je crois qu'on ne peut pas être aussi philosophe que toi. Merci pour ton enseignement et tes réponses aux questions que je n'avais jamais osé poser avant : j'ai déjà prévu de récupérer plein de tes petits trucs et astuces. Si je pouvais aussi récupérer ton calme...

**Au Docteur Cica Gbaguidi** pour sa douceur, sa sympathie et son enseignement de la chirurgie maxillo-faciale pédiatrique.

**Au Docteur Andreï Muresan**. Merci pour tes blagues, ta gentillesse et ta disponibilité. Merci pour les CPA négociées in extremis. Enfin un anesthésiste non intoxiqué à la caféine parmi ta famille amiénoise ! Tu gères grave Andreï !

**A mes co-internes !** Merci pour cet excellent semestre et nos très bonnes relations. Merci pour les rigolades, l'entre-aide et le soutien. Je vous adore !

Kiss Kiss Bang Bang à Apo, Nolwenn, Laure et Alexis. Vous êtes gravés dans mon cœur ! On est un mille-fa maintenant. (Référence à nos expressions ri-pou du semestre dont je proclame vainqueur Alexis alias Ricky Martin)

**Aux toutes les IBODES**. Bravo pour vos compétences et votre maîtrise de la spécialité. Merci pour votre accueil et votre bonne humeur.

**Aux toutes les IDE et AS du service et de la consultation**. Merci pour votre accueil, votre confiance et surtout votre sympathie.

**Aux secrétaires**. Merci de m'avoir aidée à remplir certaines missions administratives de haut vol.

**A tous les médecins et chirurgiens qui ont compté dans mon internat.**

Aux Drs Decamps, Delière, Léger, Raza, Ravelo et Blazy pour mes premiers stages en périphérie. Avec une mention très spéciale pour Francois Raza qui est maintenant un ami et que j'apprécie grandement pour ses qualités humaines et son originalité chirurgicale. Le plus beau badigeon de Bétadine que je n'ai jamais vu François !

Aux chirurgiens et personnel de Neurochirurgie de Purpan. Au Pr Roux et aux Dr Boetto, Brauge, Schmidt et Sacko. J'ai passé un formidable semestre de neurochirurgie à vos côtés! Merci encore pour votre accueil.

Merci à l'ancienne cadre du bloc, Marie-France pour les bonnes soirées gastronomiques passées à ses côtés.

Aux Dr Sarini et Benlyazid et au personnel de l'Institut Universitaire du Cancer, ex Institut Claudius Regaud. Merci pour ce semestre d'ORL riche d'enseignements.

Aux Pr Chavoin et Garrido, aux Drs Meresse, Gangloff, Eburdery, Chaput et Chanel et au personnel de chirurgie plastique. Merci pour votre accueil et vos enseignements. Ignacio et Benoît, merci beaucoup de votre aide dans les moments de doute.

Un grand merci au Dr Aymeric André pour sa gentillesse, son franc-parler et les bons moments en congrès et au laboratoire d'anatomie.

Merci à mes co-internes plasticiens pour ce bon semestre et pour leur patience à mon égard : Charline, Olivier, Rémi et Mohcine, mon petit Chouchou.

## **A ma formidable famille.**

A ma grande sœur chérie Chantal et à son prince charmant Jean. Tu es ma deuxième maman, plus philosophe et plus calme que la première. Ta grandeur d'âme n'a pas d'égal.

Belle, généreuse, intelligente, calme, courageuse, excellente assistante sociale, femme d'intérieur, mère de deux formidables jeunes femmes : tu es la Femme parfaite. Je me demanderai toujours comment tu fais pour être aussi posée, de bons conseils et si gentille.

Je t'admire et t'aime très fort.

A mes magnifiques petites nièces Fanny et Manon (devenues trop vite grandes). Je suis fière de vous mes chéries et vous porte un amour quasi maternel.

A mon grand frère Claude et son épouse Cathy pour leur soutien et leur proximité. Claude, tu ressembles tant à Papa, ta discrétion si énigmatique et charismatique force mon respect. Si j'avais pu être moins explosive comme vous !

A ma nièce Natacha et Julien. Je suis fière de toi, de tes projets, de tes idées et de ton dynamisme.

A mon neveu Amaury, le roi des sportifs (ce qui lui vaut quelques passages aux urgences) et des beaux-gosses. Pourquoi je n'ai pas eu le droit à vos yeux bleus, moi ???

A mon grand frère Laurent et Angie. Yoyo, merci d'avoir uni notre famille et d'avoir donné un peu de mouvement à ce long fleuve trop tranquille : sans toi, on se serait probablement ennuyés...

Je suis fière de toi et te porte tendrement dans mon cœur. Merci de nous avoir donné notre petite nièce toute neuve fin juillet : Chloé, notre princesse. Prends soin d'elle.

A mes cousins, Edith et Jean-Claude que j'adore et qui ont toujours été présents pour moi. A mon défunt cousin Jean, quelle vie formidable tu as eue, quel beau couple tu as formé avec Edith, j'aurais aimé que tu sois là avec papa.

A Bernard, Françoise, Amandine et Julien.

A Patrick, Sarita et Sarah.

A Pierre Z. et Marie-France. Vous formez un si joli couple. Pierre, j'admire ta gentillesse, ton courage et ton talent d'architecte.

A mon oncle Francis et Gisèle. Merci d'être proches de maman.

### **A ma formidable belle famille.**

A Odile et Antoine, mes beaux-parents, merci de m'avoir fait une place dans votre famille. Votre accueil a été des plus chaleureux. Oui, je n'ai pas honte de la dire, j'adore mes beaux-parents et j'adore discuter une heure au téléphone avec ma belle-mère ! Et j'adore le tiramisu aux fruits rouges d'O.D.I.L.E et aller à la piscine avec elle !

A François et son drôle de surnom « Francis » ou « cis »... Encore une idée des grands frères Pint' pour trouver des petits surnoms affectueux. Merci pour ta gentillesse, ton accueil et les services que tu me rends déjà (la belle-sœur re-lou). Je te souhaite un bel avenir personnel et professionnel, tu le mérites « cis ».

A Alexandre et Elodie pour votre gentillesse et votre accueil aussi. A mon adorable neveu par alliance Théo et sa jolie petite sœur Léna. Vous êtes un jeune et beau couple, dynamique, en pleine réussite. Je vous souhaite toute une vie de bonheur à tous les quatre et aux enfants à venir.

A Mamie Pinto comme vous dites tous. Merci d'être parmi nous à cette thèse. Merci de votre accueil, de votre gentillesse et de vos bons petits plats.

## **A mes meilleurs amis.**

A Denis la malice, Feracho's, Déééénis, de la ferrach' acolyte de la princesse de B.Lerhe (Belair quoi ? Beverly Hill's tu connais pas ?), Denis Canada Dry... Ma gueule cassée (jargon maxillo-facial) préférée. Tu es mon meilleur ami et le seras pour toujours. Depuis le lycée, j'ai pu te faire confiance. Tu as toujours été là dès notre jeune âge, puis pause (amour quand tu nous tiens !) et de nouveau depuis quelques années, c'est reparti comme à nos 18 ans, les délires vestimentaires et capillaires en moins. Enfin capillaire, t'as toujours du mal : on dirait un « chikmumps » en ce moment, mais ça te va plutôt bien.

J'admire ta réussite. Tu es, avec mon tendre époux, un des hommes les plus formidables qui existent sur cette planète. Tu es une belle personne, n'en doute jamais.

A ma Mauricette, Aurélaï, ma copine du CP : toujours de bonne humeur, intelligente, trop belle et trop gentille ! La meilleure amie dont on rêve. Je te surkiffe ma caille. You and Me, c'est Forever !

A Fannette Matou. Je te kiffe, je te love aussi ! Je voudrais être là plus souvent pour toi. Sois assurée de mon amitié sincère. Reste toujours aussi courageuse. Tu es une fille géniale.

A ma Clémence et Mehdi. Merci pour ton soutien et ton aide dans les moments difficiles. Tes mots gentils et constructifs m'ont souvent redonné le moral. Tu es une femme d'exception et une excellente anesthésiste.

A ma Aurèl Perrin-Terrin, l'ophtalmo triathlète. Merci aussi pour ton soutien, ton aide, les footings et les soirées natation. Je suis ravie de ta nouvelle vie au soleil. Je t'adore.

A ma Clairette et son prince charmant Arthur. Merci pour ton soutien et ta douceur. Tu es déterminée, intelligente et belle. La copine dont on devrait être jalouse mais on ne peut pas parce qu'elle est trop gentille et généreuse ! Je te souhaite plein de bonheur avec ton époux et le futur Cabos junior.

## **A mes copainings (comme on dit ici),**

A Nico, Aurore, Mila et Ninon. Nico, encore un copain du CP de la PUZ de Momoges ! Merci pour votre amitié de longue date. Vous m'avez fait l'honneur d'être votre témoin de mariage et je vous en serai toujours reconnaissante.

A Serin, le surdoué. « Fépalcon » mec, utilise ton intelligence comme il faut ! Ne fais pas comme moi ! Merci pour ta bonne humeur et ta tchatte légendaire.

A Marie-Christine, le reine du dancefloor. Merci pour ta gentillesse, tes potins, ton réconfort et surtout pour les réservations de vélos au cours de biking d'Espace Forme, à Momoges...

### **A mes co-internes des autres disciplines fort sympathiques.**

Gaëlle Espinasse, Marie « de Porterie » maintenant brillante CCA d'optho, Jérôme Gas pour sa bonne humeur au laboratoire d'anatomie, tous les petits seconds de l'UT devenus grands maintenant (Pierre Rabi, Pierre Brandicourt, Charles-Edouard...)

Spéciale dédicace à Pauline Roulette/Paulette Rouline pour les bons moments passés ensemble.

### **A tous ceux qui ont compté pendant mes années « carabin ».**

A toute la famille Fatimi que j'adore. Jamal, merci pour ton soutien indéfectible et ta protection. Parfois je me dis que j'aurais dû rester à Limoges parmi vous. J'espère pouvoir te rendre un jour la pareille de tout ce que tu as fait pour moi. Soyez assuré de mon amitié éternelle. Vous êtes dans mon cœur.

A Slim et Max, mes petits protégés.

A tous les carabins limougeaux à qui j'ai adoré donner des cours à Formaplus.

A la famille Frut qui m'a aidée et encouragée pendant toutes ces années.

### **A mes meilleurs copains de la faculté de médecine de Limoges.**

A Sophie Daure, ma biologiste préférée.

A Alex Kouame, mon binôme de garde alias Lilian Thuram.

A ma Marie chérie, conjointe de mon Krisprolls d'animateur gestionnaire de risques surfeur et maman de la petite tête blonde Titouan. Vous formez un couple magnifique.

A Sophie Pla, la limougeaude toulousaine de Rodez.

A Alicia.

**Aux Professeurs, MCU et enseignants de la faculté de médecine de Limoges** qui nous ont appris à examiner consciencieusement les patients. Merci pour vos enseignements.

# TABLE DES MATIERES

## PREAMBULE

## INTRODUCTION

## CHAPITRE I. GENERALITES

<b>I. Anatomie</b> .....	<b>39</b>
<b>1. Anatomie de l'os zygomatique</b> .....	<b>39</b>
A. Embryologie de l'os zygomatique et de la pommette .....	39
B. Anatomie descriptive de l'os zygomatique .....	39
<b>2. Anatomie topographique</b> .....	<b>42</b>
A. Anatomie générale de la tête osseuse.....	42
B. L'orbite .....	44
C. La fosse temporale .....	45
<b>3. Anatomie radiologique</b> .....	<b>46</b>
<b>II. Craniofaciométrie</b> .....	<b>49</b>
<b>1. Définitions</b> .....	<b>49</b>
A. Craniométrie .....	49
B. Céphalométrie.....	49
C. Anthropométrie céphalique.....	50
D. Morphométrie .....	50
E. Ostéométrie .....	50
<b>2. Repères osseux</b> .....	<b>51</b>
A. Etages et secteurs dans l'analyse faciale .....	51
B. Description .....	51
<b>III. Fracture de l'os zygomatique</b> .....	<b>55</b>
<b>1. Biomécanique faciale</b> .....	<b>55</b>
A. Description générale .....	55
B. Description des piliers zygomatiques .....	57
<b>2. Epidémiologie</b> .....	<b>58</b>
<b>3. Description</b> .....	<b>58</b>
A. Fractures de l'os zygomatique et du complexe zygomatique .....	58
B. Fractures occluso-faciales .....	59
<b>4. Classification</b> .....	<b>60</b>
A. Classification de Knight and North.....	60
B. Classification de Zingg.....	62
C. Autres classifications .....	63
<b>5. Diagnostic radiologique</b> .....	<b>64</b>
A. Clichés radiographiques standard.....	64
B. Tomodensitométrie .....	66
C. Cone Beam ou tomographie à faisceau volumique de la face .....	66
<b>6. Traitement</b> .....	<b>66</b>



A. Historique.....	67
B. L'abstention chirurgicale.....	68
C. Les standards de l'AOCMF.....	68
D. Procédés transfocaux.....	73
E. Organigramme de prise en charge chirurgicale.....	74
F. Avis général.....	77
<b>7. L'essor de la chirurgie assistée par ordinateur : CAO.....</b>	<b>77</b>
A. L'imagerie per opératoire.....	77
B. La navigation per opératoire selon l'AOCMF.....	81

## CHAPITRE II. JUSTIFICATION SCIENTIFIQUE ET DESCRIPTION GENERALE

<b>I. Problématisation de la recherche.....</b>	<b>84</b>
1. Comment apprécie-t-on le relief et la morphologie de la pommette ?.....	84
2. Quand et comment le chirurgien contrôle la qualité de la réduction de la fracture de l'os zygomatique ?.....	84
3. Que contrôle le chirurgien pour évaluer la qualité de la réduction radiologique de la fracture de l'os zygomatique ?.....	85
<b>II. Etat actuel des connaissances scientifiques.....</b>	<b>85</b>
1. A propos du relief et de la morphologie de la pommette.....	85
A. Le culte de la pommette.....	85
B. Comment apprécie-t-on le relief de l'os zygomatique? <b>Etude de la position du sommet de l'os zygomatique.</b> .....	86
C. Application chirurgicale : les plasties zygomatiques.....	89
2. Quand et comment le chirurgien contrôle la qualité de la réduction de la fracture de l'os zygomatique ? <b>Etude des moyens radiologiques.</b> .....	93
A. L'idéal du contrôle tomographique per-opératoire.....	93
B. A défaut, le contrôle sera post-opératoire.....	94
3. Que contrôle le chirurgien pour évaluer la qualité de la réduction de la fracture de l'os zygomatique ? <b>Etude de la symétrie du zygoma.</b> .....	94
<b>III. Etude anatomique personnelle du sommet de l'os zygomatique.....</b>	<b>99</b>
1. Matériel et Méthode.....	100
2. Résultats.....	102
3. Discussion.....	103
4. Conclusion.....	105
<b>IV. Description générale.....</b>	<b>106</b>
1. Mesures ostéométriques tomodensitométriques de l'os zygomatique.....	106
A. Informations disponibles.....	106
B. Elaboration du référentiel de mesures ostéométriques.....	107
2. Protocole de recherche.....	113
A. Etude de TDM normaux.....	113
B. Etude des TDM et Cone Beam pathologique.....	114

**CHAPITRE III. OSTÉOMETRIE TOMOGRAPHIQUE DE L'OS ZYGOMATIQUE SUR TOMODENSITOMETRIE ET CONE BEAM APPLIQUÉE A LA TRAUMATOLOGIE DU MASSIF FACIAL : ETUDE PRELIMINAIRE RETROSPECTIVE SUR 28 PATIENTS DU CHU DE TOULOUSE**

<b>I. Epidémiologie des patients atteints de fractures de l'os zygomatique.....</b>	<b>118</b>
<b>1. Epidémiologie des patients fracturés .....</b>	<b>118</b>
A. Sexe .....	118
B. Age .....	118
C. Etiologie du traumatisme.....	118
<b>2. Epidémiologie des fractures.....</b>	<b>119</b>
A. Côté fracturé.....	119
B. Classification des fractures .....	119
C. Etude des voies d'abord.....	120
D. Etude des sites d'ostéosynthèse.....	121
E. Etude des voies d'abord et des sites d'ostéosynthèse .....	122
<b>3. Echantillon de l'étude.....</b>	<b>126</b>
<b>II. Etude ostéométrique .....</b>	<b>127</b>
<b>1. Ostéométrie tomodensitométrique des os zygomatiques normaux .....</b>	<b>127</b>
A. Matériel et méthode.....	128
B. Résultats.....	128
C. Discussion.....	132
<b>2. Ostéométrie tomographique de l'os zygomatique fracturé.....</b>	<b>133</b>
A. Matériel et Méthode.....	133
B. Résultats.....	139
D. Discussion .....	152
E. Conclusion.....	165

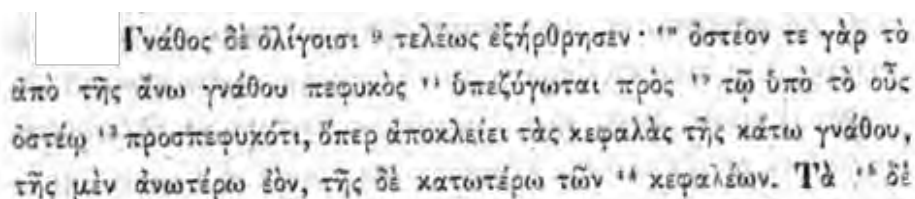
**CONCLUSION**

**BIBLIOGRAPHIE**

## PREAMBULE

L'os zygomatique ou « zygoma », os de la pommette, vient du grec ancien Ζυγωμα, zúgōma signifiant joint. En situation proéminente, cet os a intéressé les grands Anatomistes depuis l'Antiquité car il serait un pare-choc offert par la Nature pour protéger certaines structures nobles.

Hippocrate le Grand (460-370 av JC), médecin grec du siècle de Périclès, considéré comme le « père de la médecine » ou comme le « Prince de l'Anatomie » par Vésale, s'est intéressé au zygoma. Ses connaissances anatomiques sont malgré tout discutées car il aurait été détourné des dissections par ses considérations sur l'âme des morts. A noter que, des 72 traités du Corpus hippocratique, aucun ne peut être vraiment attribué à la main d' Hippocrate. Le squelette osseux fait néanmoins partie des éléments les mieux décrits. Le « Corpus Hippocraticum » datant de la fin du Ve au IIIe siècle avant JC, et traduit en français par Emile Littré (1839-1861), donne cette description de l'os zygomatique : « l'os qui naît de la mâchoire supérieure et qui se conjugue avec l'os placé sous l'oreille : le zygomatique du temporal, lequel sépare les têtes de la mâchoire inférieure à savoir le condyle et l'apophyse coronéide ».



Γνάθος δὲ ὀλίγοις ἢ τελεῶς ἐξήρθησεν· ἴσ' ὅσπερ τε γὰρ τὸ ἀπὸ τῆς ἄνω γνάθου πεφυκὸς ἢ ὑπεζύγεται πρὸς τῷ ὑπὸ τὸ οὖς ὀστέῳ ἢ προσπεφυκότητι, ὅπερ ἀποκλείει τὰς κεφαλὰς τῆς κάτω γνάθου, τῆς μὲν ἀνωτέρω ἔσθ', τῆς δὲ κατωτέρω τῶν κεφαλέων. Τὰ δὲ

**Description de l'os zygomatique en langue ionienne, Œuvres complètes d'Hippocrate, E. Littré, 1844**

Claude Galien (129-216), médecin grec de l'Antiquité, poursuit les efforts de découverte anatomique d'Hippocrate mais aussi d'Aristote (384-322 av JC), d'Hérophile (~330-260 av JC) et de l'Ecole d'Alexandrie qui multiplia les dissections, en s'illustrant particulièrement dans la description des os. Les œuvres de Galien ont été traduites en français par Charles Daremberg (1854-1856). A propos de l'os zygomatique Galien écrit : « Avant Hippocrate, la Nature savait qu'elle exposait l'animal aux plus graves accidents si elle négligeait de garantir les muscles temporaux. Elle a donc fortifié la région autant que possible. (...) La Nature n'a pas dénué la saillie du muscle temporal de protection mais des os supérieurs de la tête (temporaux) et de ceux situés aux extrémités des sourcils (zygoma), ayant fait naître de chaque côté un os allongé, convexe à la face externe et concave du côté du muscle (arcade zygomatique), elle l'a comme enveloppé. L'os zygomatique n'est pas un os comme les autres : il est sans moelle, dense, dur comme une pierre, insensible autant que possible, la Nature ayant voulu établir un rempart en avant des muscles temporaux ».

En dépit des titres donnés à leur ouvrage, ni Hippocrate, ni Galien n'avaient détaillé comme André Vésale la structure, la matière et l'agencement des os. Andreas Vesalius (1514-1545), anatomiste et médecin brabançon considéré comme le plus grand anatomiste de la Renaissance, a osé discuter le maître Galien et en montrer les erreurs, mais s'est aussi largement inspiré de ses prédécesseurs. Il décrivait dans son « De Humani corporis fabrica libri septem » ou « la Fabrica » (1543) dédié à Charles Quint, l'os zygomatique comme tel : « (...) l'os zygoma est nommé « os en forme de joug » par les Romains, « zygôma » par les Grecs, parce que ces deux os (un de chaque côté) sont comparés par les Maîtres en Anatomie aux jougs de bœufs et des chevaux. Il est évident que l'os zygoma (...) est formé par les processus des deux os unis l'un à l'autre par une suture oblique : sa partie postérieure est le processus zygomatique de l'os temporal et sa partie antérieure est considérée comme un processus temporal de l'os zygomatique qui, formant tout l'angle externe de la cavité orbitaire sera compté comme le premier os de la mâchoire supérieure. Donc l'os zygoma n'a pas de limite propre et n'est rien d'autre que l'aire formée par ces deux processus (...). Il est dépourvu de moelle, et compact, dur et résistant comme de la pierre, placé en guise de protection devant le muscle temporal » Plus loin, il écrit « l'os zygoma a été formé dans le but principal de faciliter l'insertion d'origine du muscle masséter ».



**Anatomie de la fosse temporale d'après Vésale** (arcade zygomatique sectionnée), *De humani corporis fabrica libri septem*, 1543

Après ces siècles de travaux, l'os zygomatique (en nouvelle nomenclature, *Terminologia anatomica*, 1998) ou os malaire (en ancienne nomenclature, *Nomina Anatomica*, 1956) est parfaitement décrit dans les chapitres d'ostéologie des livres contemporains d'Anatomie humaine. Ce pare-choc naturel ne semble plus avoir de secret pour nous.

Pourtant le mystère de la pommette, unité esthétique à part entière n'est que partiellement élucidé. Nous connaissons effectivement mal les relations entre les structures faisant le volume et la morphologie de la pommette. Il semblerait que

l'éminence zygomatique ou maximum antérieur de projection du zygoma et l'arcade zygomatique aient un rôle capital sur l'aspect extérieur de la partie haute de la joue.

Ces notions intéressent les anatomistes, mais aussi les médecins. Particulièrement les chirurgiens asiatiques qui cherchent à travers les plasties zygomatiques à rendre les pommettes moins proéminentes chez leurs semblables. Les chirurgiens traumatologistes du massif facial portent aussi un intérêt à la projection du zygoma; La détermination de critères de mesure scientifiques sur les bases osseuses leur permettrait de redonner avec fiabilité à l'os zygomatique fracturé et la pommette traumatisée leur aspect d'antan.

Outre la corporation médicale, cette région jugale attise la curiosité des artistes, qui ont une vision différente des mécaniciens du corps humain. Certains d'entre eux se sont penchés sur la relation entre os et parties charnues sus-jacentes. « Brièvement, profondément, d'une puissante tâche blonde qui frémit dans une enveloppe d'argent et sur qui des accents plus clairs ou plus foncés indiquent seuls en frappe de lumière et les saillies, les méplats et les bosses, il construisait ses faces de vie concentrée, où sous la mobilité du masque musculaire, se voit le dur squelette du visage. » disait Elie Faure (1873-1937) dans son ouvrage consacré à Velasquez (1903). L'art consommé de la pommette de Diego Velasquez nous captive, il était maître en la matière : pommette ronde et bien nourrie à l'instar du pape Innocent X, de Démocrite ou de Marie-Thérèse, ou pommette creuse de Saint-Thomas ou encore Saint-Paul. Les pommettes de la vieille dame aux œufs sont saillantes et proéminentes : elles deviennent un élément à la fois intrigant et fondamental de la charpente du visage, mais dans ce cas sont synonymes de fragilité, même de mauvaise santé. Les joues sont souvent rosées et bien rondes dans les représentations de femmes de Velasquez, en rapport avec la jeunesse, la santé et la séduction. On devine sous ses coups de pinceau la structure osseuse de l'os zygomatique.

Il apparaît indéniable que la morphologie des pommettes est une affaire d'intrication entre parties molles et structures osseuses.



**Vieille faisant frire des œufs de**  
Diego Velasquez, 1618  
(National Gallery of Scotland,  
Edimbourg)



**Portrait de dame de Diego**  
Velasquez, 1625  
(Anciennement au Palais Royal de  
Madrid)

Il n'est pas possible de parler d'art, même d'art consommé sans évoquer la Joconde de Léonard de Vinci (1452-1519), tant les pommettes de Mona Lisa ont quelque chose d'étrange et d'envoûtant. La Joconde ne laisse nul doute sur le fait qu'il s'agisse d'un visage humain où la peau et les muscles sous-jacents savent à merveille reposer sur l'ossature du massif facial. Galbe de la tête, front, arête nasale, menton et surtout pommette : tout repose sur la structure interne au point de la deviner en contemplant le chef d'œuvre. Les pommettes y jouent un rôle primordial car l'os zygomatique sous-jacent donne lieu à l'insertion des muscles petit et grand zygomatiques qui, contractés de manière si particulière, font naître le mythe du sourire énigmatique de Mona Lisa.

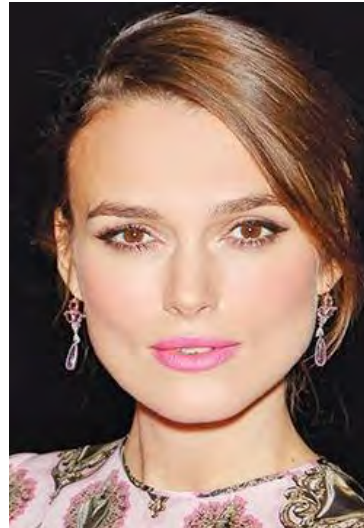


**La Joconde** ou **portrait de Mona Lisa**, Léonard de Vinci (1503-1506)

Tel un mille-feuille, la pommette est donc composée d'os, de muscle, de peau et de beaucoup de graisse, celle-la même qui représente la plénitude de la jeunesse et le regret des aînés. Une pommette déprimée, tombante est en situation symbolique d'échec. Cette partie du visage est devenue l'obsession de femmes ou d'hommes qui la rêvent toujours plus haute, plantureuse et plus colorée, pour répondre à l'idéal fantasmatique du triangle esthétique du visage. Ainsi est né le culte de la pommette du XXI<sup>e</sup> siècle. D'ailleurs, en tapant sur les moteurs de recherche de la toile « pommette saillante » ou « pommette haute » ou encore « pommette idéale », on tombe facilement sur nos canons de beauté modernes.



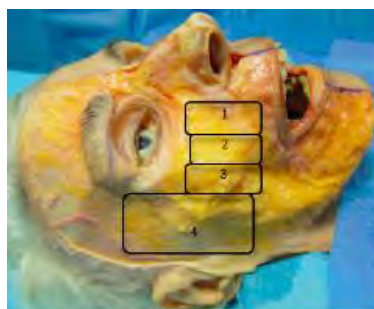
**Angelina Jolie**



**Keira Knightley**

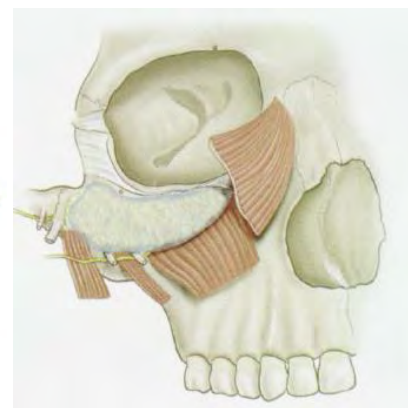
Chez ces deux célèbres actrices anglo-saxonnes, on repère cet idéal de pommette saillante qui fait rêver plus d'une occidentale. La structure osseuse y est très marquée. Le malar fat pad inséré sur le corps du zygoma est très haut situé.

Os, système adipo-cutané superficiel (SACS) et le suborbicularis oculi fat pad (SOOF) sont en interférence perpétuelle et évoluent ensemble au fil du temps selon plusieurs théories de la sénescence que nous ne détaillerons pas.



Malar fat pad et compartiment nasolabial

1. Compartiment nasolabial
2. Compartiment médial
3. Compartiment médian
4. Compartiment latéral



### **Anatomie du malar fat pad et du compartiment graisseux nasolabial (SACS),**

d'après des travaux de dissection personnels

De gauche à droite : grand et petit zygomatiques, levator labii superioris, orbicularis oculi. En jaune : rameau du nerf facial, en blanc : ligaments zygomatiques.

### **Anatomie du SOOF (compartiment adipeux profond) d'après Mendelson(1)**



Les interactions entre toutes les structures de la pommette sont difficiles à appréhender, bien que nous connaissions un par un tous les éléments de son anatomie. Le mystère est d'autant plus confirmé qu'aucun référentiel cranio-faciométrique et morphométrique n'existe à propos du zygoma et de la partie haute de la joue. La céphalométrie standard n'intègre pas l'os zygomatique et les précurseurs de la craniométrie dont Broca ne se sont pas focalisés sur lui non plus.

Voilà une belle contradiction : la pommette moderne vire à l'obsession de la perfection mais on ne sait ni comment la mesurer, ni ce qui fait « la magie » de son relief, alors que chaque jour des femmes et des hommes sont demandeurs de correction à ce niveau (plastie zygomatique, injection de comblement, etc.).

Le chirurgien maxillo-facial est largement mêlé à cette énigme. Cette région de la pommette pourtant latéralisée sur la face, peut être un préjudice cosmétique lors de déformation liée à une fracture ou en cas de réparation chirurgicale imparfaite. Mais sur quoi le chirurgien doit concentrer son maximum d'attention pendant l'intervention ?

Quand le traumatologiste est à l'œuvre, il essaie de restituer l'os zygomatique au plus proche de son état pré-morbide et symétrique du zygoma controlatéral, faisant rimer son art avec Science médico-chirurgicale. Pour vérifier objectivement ce résultat, encore faut-il qu'il ait à disposition des mesures quantitatives pertinentes, notamment radiologiques, de ce support osseux. A l'heure actuelle, nous ne disposons pas de référentiel de mesure radiologique applicable en clinique.

Par ailleurs, il semblerait que le rétablissement de la symétrie osseuse parfaite ne garantit pas forcément le rétablissement de l'état pré-morbide.

En outre, nous ne connaissons pas le degré d'asymétrie repéré par l'œil humain à l'observation du visage d'autrui, c'est-à-dire le seuil pour lequel les pommettes sont décrétées asymétriques (voire inesthétiques) et encore moins son corollaire osseux. Cependant, des anthropologues ont relevé une différence physiologique de projection fréquente de 2,5mm entre les deux zygomatas.

La notion de points repères de projection maximale du zygoma sera à préciser pour élaborer un référentiel radiologique de contrôle du traitement chirurgical des fractures. En résumé, ce travail pose une question d'ordre philosophique : comment aider la chirurgie à tendre vers une Science exacte mathématique et géométrique ?

Les progrès en chirurgie maxillo-faciale sont fulgurants depuis le drame humain de la Première Guerre Mondiale. C'est une spécialité qui a su se renouveler. Beaucoup de grands chirurgiens internationaux comme Tessier ou Ellis se sont illustrés en matière de chirurgie osseuse que ce soit pour la réalisation des voies d'abord et pour les choix thérapeutiques.

Aujourd'hui, le chirurgien opère le complexe zygomatique fracturé selon des standards bien définis. Il utilise des méthodes indirectes ou directes de réduction avec ou sans mise en place de matériel d'ostéosynthèse. Il est bien loin le temps où l'on accrochait nos patients à des poulies vissées au lit ou autres dispositifs tracteurs pour maintenir orthopédiquement la réduction de leur fracture.



**Photographie d'un traitement orthopédique d'une fracture du massif facial  
au début du XXème siècle**

La chirurgie maxillo-faciale a incorporé au fil des années les avancées technologiques de l'imagerie dans sa pratique de la chirurgie osseuse notamment pour le bilan diagnostique et de contrôle post-opératoire. Depuis le début des années 2000 fleurissent les contrôles tomographiques par Cone Beam, examen moins irradiant qu'un scanner classique. Le nec plus ultra en matière de contrôle de la réduction des fractures serait au XXIe siècle, la tomographie per-opératoire ou la navigation chirurgicale qui augmenteraient notre performance dans les réparations.

L'idée d'élaborer un référentiel ostéométrique tomographique concernant le complexe zygomatique sain applicable au zygoma réparé se justifie aisément avec le développement de l'imagerie per-opératoire. Ce référentiel peut naturellement être utilisé sur les tomographies post-opératoires.

L'idéal serait aussi de comprendre le corollaire de ce référentiel ostéométrique au niveau des parties molles pour optimiser notre culte chirurgical de la performance : rétablir la pommette pré-fracturaire parfaitement.

Bâtir ce référentiel ostéométrique est pour notre équipe toulousaine un pan de la résolution de l'énigme de la morphologie de la pommette.

## INTRODUCTION

Une pommette déformée et asymétrique peut constituer un préjudice cosmétique indéniable.

En cas de fracture, les rapports de l'os zygomatique avec l'orbite expliquent les retentissements possibles sur la morphologie péri-orbitaire et orbitaire mais aussi sur la fonction visuelle et oculomotrice. Toute modification dans cette région centro-faciale peut engendrer des conséquences péjoratives esthétiques et fonctionnelles. Et quand on sait à quel point le regard a un potentiel médiologique, certains en disent même qu'il est « le reflet de l'âme », on cerne bien tout l'intérêt d'une restauration osseuse identique à l'état pré-morbide du zygoma et de ses sutures.

La biométrie de l'os zygomatique et de la pommette est succincte à ce jour et est d'une relative imprécision scientifique. Les descriptions anthropométriques pourraient pourtant être un avantage et un argument de précision en pratique chirurgicale. On admettra en toute logique que la restauration complète du complexe zygomatique à son état physiologique, symétrique au côté sain est un critère de réussite de l'intervention chirurgicale. Il faut alors authentifier cette réussite à travers des critères quantitatifs notamment radiologiques. Nous trouvons dans cette lacune de données consensuelles une justification scientifique à notre travail ostéométrique.

L'os zygomatique possède une projection antérieure et latérale qu'il serait judicieux d'incorporer dans ce nouveau référentiel. Sans vraiment vouloir y trouver une relation mathématique et géométrique, les chirurgiens maxillo-faciaux ont déjà notion de l'importance de la projection du complexe zygomatique et d'un hypothétique sommet zygomatique à travers l'application directe aux plasties zygomatiques où l'éminence zygomatique ainsi que l'arcade sont mobilisées. Nous tenterons de définir l'éminence zygomatique pour l'appliquer à notre référentiel de mesure.

Dans notre travail, nous n'avons pas pu étudier les relations entre os réparé et parties molles sus-jacentes par impossibilité de mise en oeuvre. Le reste de notre énigme sur la morphologie de la pommette sera à élucider lors d'un prochain exposé.

Jadis, nos Anciens faisaient preuve d'ingéniosité pour traiter les fractures zygomatiques préjudiciables. De Duverney au XVIII<sup>ème</sup> siècle, en passant par Keen, Kazanjian et Gillies au début des années 1900, les méthodes se montraient variées parfois fantasques mais étaient relatives aux moyens techniques disponibles à leur époque. Nos Maîtres du XX et XXI siècle qu'étaient Tessier, Ellis et bien d'autres, ont insisté sur l'indication des ostéosynthèses en utilisant entre autres les observations de Michelet des années 1970. Ils ont ensuite essayé d'organiser des prises en charges optimales et d'améliorer les voies d'abord.

Depuis la fin des années 1990, à l'époque de l'éloge de la performance, ont assisté à l'émergence d'un nouveau type de chirurgie : la chirurgie assistée par ordinateur (CAO) ou « computer assisted surgery » (CAS). Ces nouveautés, à l'instar de ce que pensent nos confrères suisses et allemands, dont Scolozzi et Schramm, sont presque une nouvelle philosophie chirurgicale maxillo-faciale. La réparation de toute fracture du

complexe zygomatique doit tendre vers la perfection, de ce fait l'outil informatique est un excellent allié, notamment pour le contrôle per-opératoire.

Certaines équipes dont notre Ecole toulousaine ont une envie naissante et de plus en plus justifiée de procéder à ces contrôles tomographiques per opératoires voire d'utiliser la navigation chirurgicale autant que faire se peut. Le manque de critères radiologiques de réduction fracturaire se fait ressentir.

Dans l'exposé qui suivra, nous rappellerons dans un chapitre de généralités les notions d'anatomie fondamentale descriptive, clinique et radiologique de l'os zygomatique sain et fracturé, puis les notions principales en matière de traumatologie du zygoma en insistant sur les nouvelles technologies diagnostiques et thérapeutiques.

Dans un deuxième chapitre, nous justifierons l'intérêt de l'élaboration d'un référentiel géométrique en faisant le point sur les données scientifiques disponibles à l'heure actuelle ; nous en déduirons alors ce référentiel et en proposerons une description. Nous mettrons en exergue l'idée de sommet et de morphologie de l'os zygomatique en proposant des distances et des angles en relation.

Dans un ultime chapitre, nous vérifierons la fiabilité et la reproductibilité de ce référentiel et le testerons sur une cohorte de patients fracturés. Nous en profiterons pour proposer des statistiques sur les patients opérés d'une fracture unilatérale de l'os zygomatique dans le service de chirurgie maxillo-faciale du CHU de Toulouse du Pr Boutault.

Nous conclurons sur l'utilité de nos standards géométriques dans les contrôles tomographiques per et post-opératoires.

## CHAPITRE I. GENERALITES

Seront décrits dans ce chapitre l'anatomie générale et radiologique de l'os zygomatique ainsi que ses rapports avec le reste du massif facial et du crâne pour comprendre ultérieurement les mécanismes et types de fractures mais aussi les enjeux esthétiques et fonctionnels de leur réparation.

Nous évoquerons plusieurs notions de cranio-faciométrie et verrons que les données concernant la pommette sont succinctes.

Nous nous concentrerons ensuite sur l'os zygomatique fracturé.

En dernier lieu, nous présenterons les méthodes diagnostiques et thérapeutiques organisées des fractures selon leur topographie et leur gravité. Nous parlerons naturellement du concept de chirurgie assistée par ordinateur afin de justifier les principales idées de ce travail.

## I. Anatomie

### 1. Anatomie de l'os zygomatique

#### A. Embryologie de l'os zygomatique et de la pommette(2)

##### **Développement du squelette facial**

A partir de la 4<sup>ème</sup> semaine de vie intra-utérine, se développe le squelette de la face à partir du viscérocrâne. Le mésenchyme du premier arc branchial donne par ossification de membrane l'os zygomatique, développé aux dépens d'un seul noyau.(3)

##### **Développement de la face**

La face résulte du soulèvement de la surface épiblastique par les masses mésodermiques autour du stomodaeum. A la fin de la 4<sup>ème</sup> semaine de vie intra-utérine, cinq bourgeons apparaissent autour de celui-ci : un bourgeon nasofrontal, une paire de bourgeons maxillaires et une paire de bourgeons mandibulaires.

De la 5<sup>ème</sup> à la 10<sup>ème</sup> semaine, il y a une fusion des deux processus nasaux médians et des deux bourgeons maxillaires. Le bourgeon maxillaire supérieur donnera la **pommette**.

#### B. Anatomie descriptive de l'os zygomatique(4)

Pare-choc osseux latéral de la face, c'est un os compact en périphérie et spongieux au centre, qui forme le relief de la pommette. Il rentre dans la constitution du pilier facial externe.(5)

Il repose par l'intermédiaire de ses angles osseux compacts sur des cavités faciales fragiles : orbite et sinus maxillaire. Il est quadrangulaire et aplati transversalement, avec 3 faces jugale, temporale, et orbitaire, quatre bords et deux processus.

##### **Description des faces**

**La face jugale** est latérale, convexe et lisse. Elle est percée par le foramen zygomatiko-facial. En dessous du foramen s'insèrent les muscles petit et grand zygomatiques.

**La face temporale** est postéro-médiale et concave avec :

- Une surface antérieure, rugueuse qui s'articule avec le maxillaire et participe à la constitution de la console zygomatoco-maxillaire.
- Une surface postérieure, lisse qui constitue la limite antérieure de la fosse temporale. Elle est percée en avant par le foramen zygomatoco-temporal.

**La face orbitaire** est antéro-médiale, lisse et concave. Elle forme la paroi antéro-latérale du plancher et la paroi latérale de l'orbite. Elle présente dans sa partie verticale le foramen zygomatoco-orbitaire.

### Description des bords

**Le bord orbitaire** est lisse et concave et constitue le segment inféro-latéral du rebord orbitaire.

**Le bord maxillaire** est antéro-inférieur et rugueux. Il s'articule avec le processus zygomatique du maxillaire (console zygomatoco-maxillaire).

**Le bord postéro-inférieur** est épais et rugueux et donne insertion au muscle masséter.

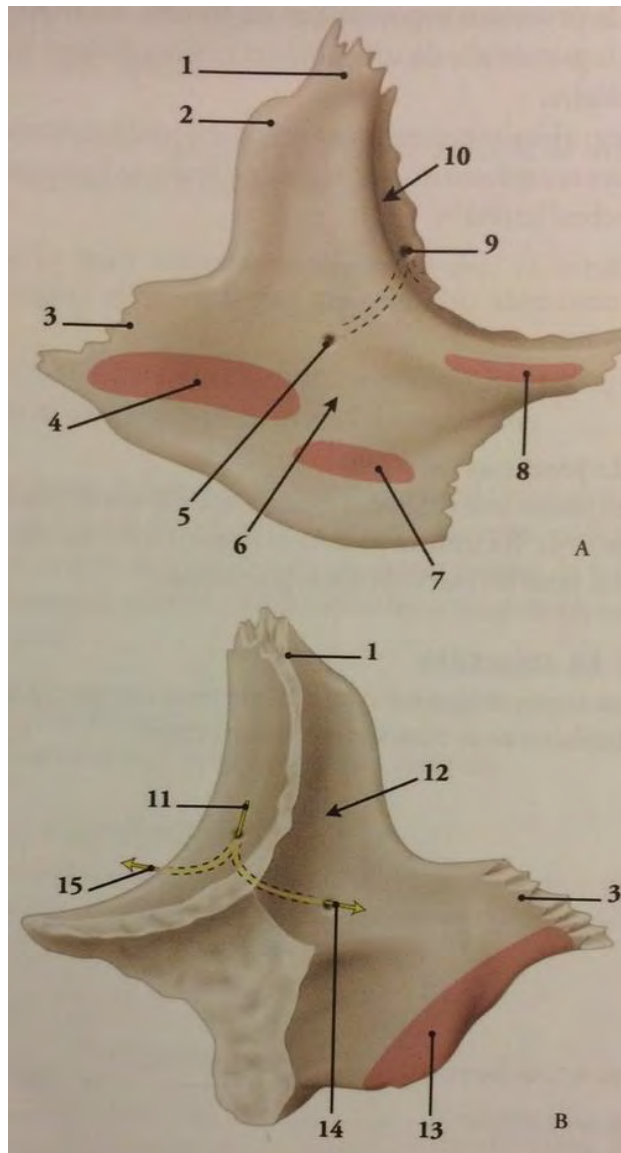
**Le bord médial**, mince, s'articule en haut avec la grande aile du sphénoïde et en bas avec le maxillaire.(6)

### Description des processus

**Le processus frontal** et supérieur, épais et régulier, il s'articule en avant avec le processus zygomatique du frontal en formant la suture fronto-zygomatique, en arrière avec la grande aile du sphénoïde et la face orbitaire du maxillaire. Sa face orbitaire présente à un centimètre de l'extrémité l'éminence orbitaire, sur laquelle s'insère le ligament palpébral latéral.

**Le processus temporal** est postérieur et taillé en biseau aux dépens du bord supérieur. Il s'unit au processus zygomatique du temporal par la suture temporo-zygomatique pour former l'arcade zygomatique.

Le canal zygomatique, en forme d'Y, débute par le foramen zygomatoco-orbitaire et s'ouvre au niveau des deux foramens zygomatoco-facial et zygomatoco-temporal. Il livre passage aux rameaux nerveux zygomatiques et zygomatoco-temporal.



- A. vue antéro-latérale  
 B. vue postéro-médiale  
 1. processus frontal  
 2. tubercule marginal  
 3. processus temporal  
 4. processus zygomatique  
 5. foramen zygomatico-facial  
 6. face jugale  
 7. m. petit zygomatique

8. m. élévateur de la lèvre sup  
 9. foramen zygomatico-orbitaire  
 10. face orbitaire  
 11. n. zygomatique  
 12. face temporale  
 13. m. masséter  
 14. rameau et foramen zygomatico-temporaux  
 15. rameau zygomatico-facial

**Figure 1.** Os zygomatique d'après Kamina, *Anatomie clinique 3<sup>ème</sup> édition, Tome 2(4)*



## 2. Anatomie topographique

Les rapports de l'os zygomatique sont étudiés ci-après : au sein du squelette crânio-facial, puis au sein des régions de l'orbite et de la fosse temporale.

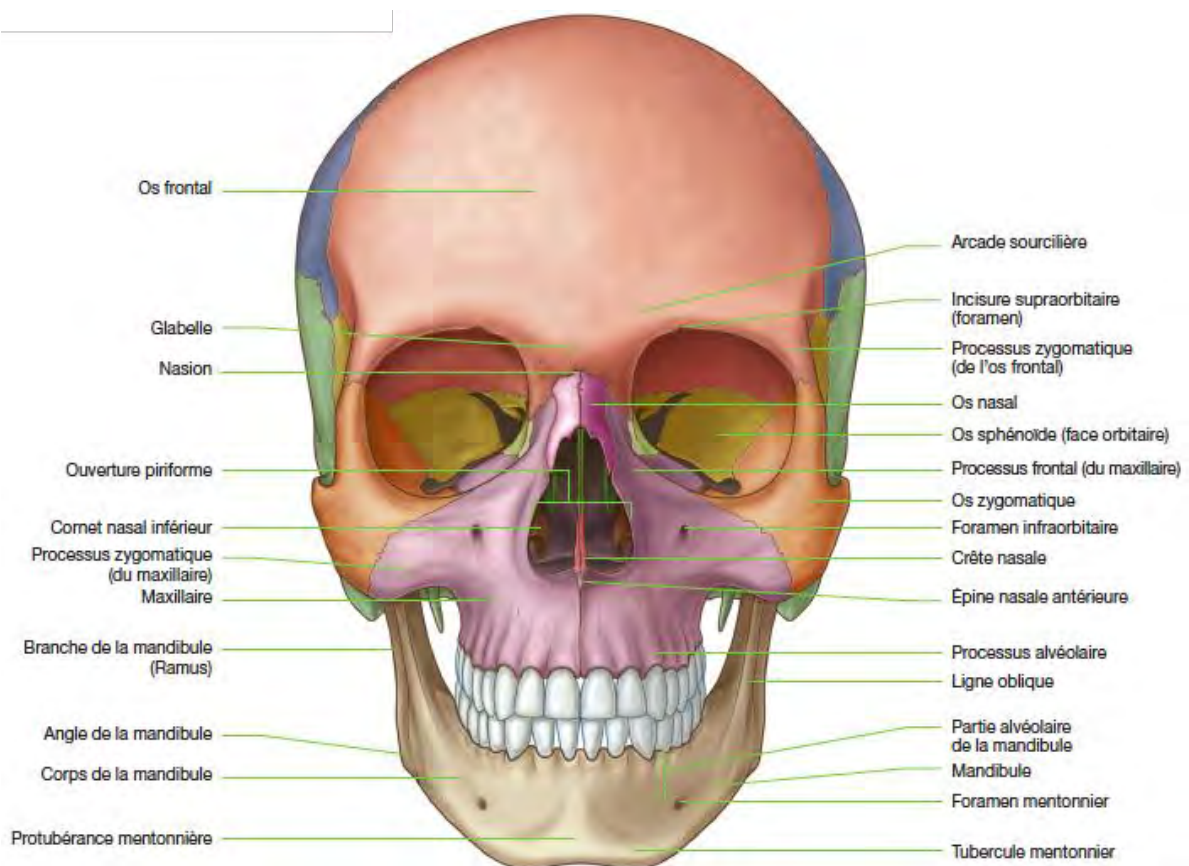
### A. Anatomie générale de la tête osseuse

L'os zygomatique est essentiellement visible sur la norma frontalis, lateralis et basalis de la tête osseuse, qui sont les trois seules vues détaillées dans ce paragraphe.

Elles permettent de visualiser la morphologie osseuse externe générale du squelette crânio-facial mais aussi de mettre en exergue l'os zygomatique et ses rapports.(7)

#### **Norma frontalis (vue faciale)(8)**

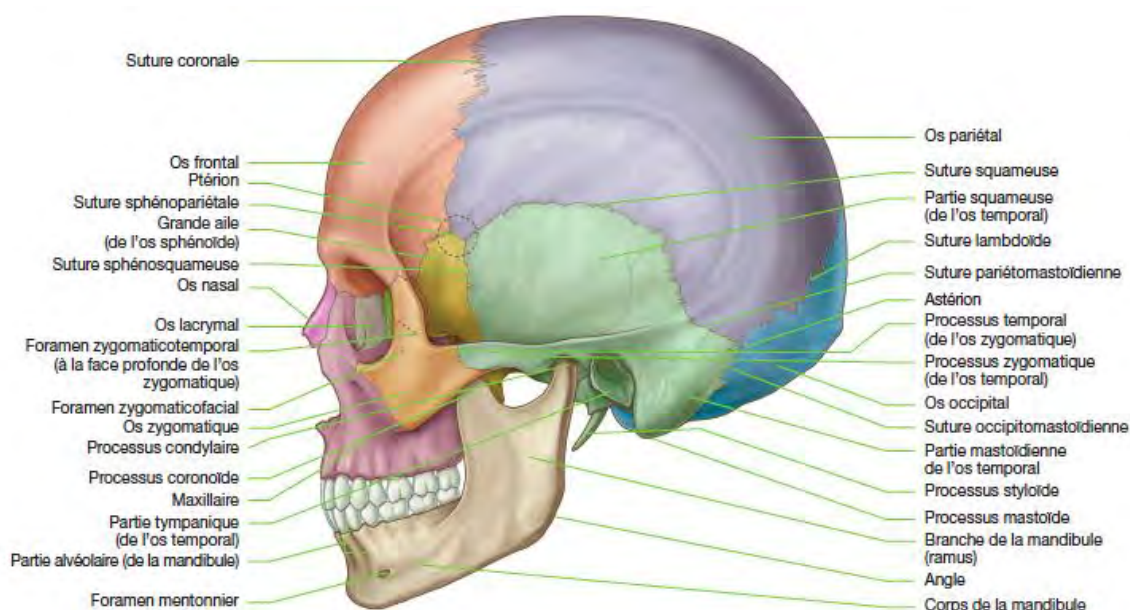
Elle correspond à la vue antérieure du squelette crânio-facial.(7) Latéralement, l'os zygomatique forme une saillie proéminente, presque sous-cutanée.



**Figure 2. Norma frontalis d'après Dillenseger, Atlas d'Anatomie générale et radiologique(8)**

### Norma lateralis (vue latérale)(8)

Elle correspond à la vue latérale du crâne et comprend : une partie crânienne, large et ovoïde, et une partie faciale, plus petite et irrégulière. L'arcade zygomatique est un relief palpable entre la joue et la tempe, elle prolonge en arrière l'os zygomatique.(7)

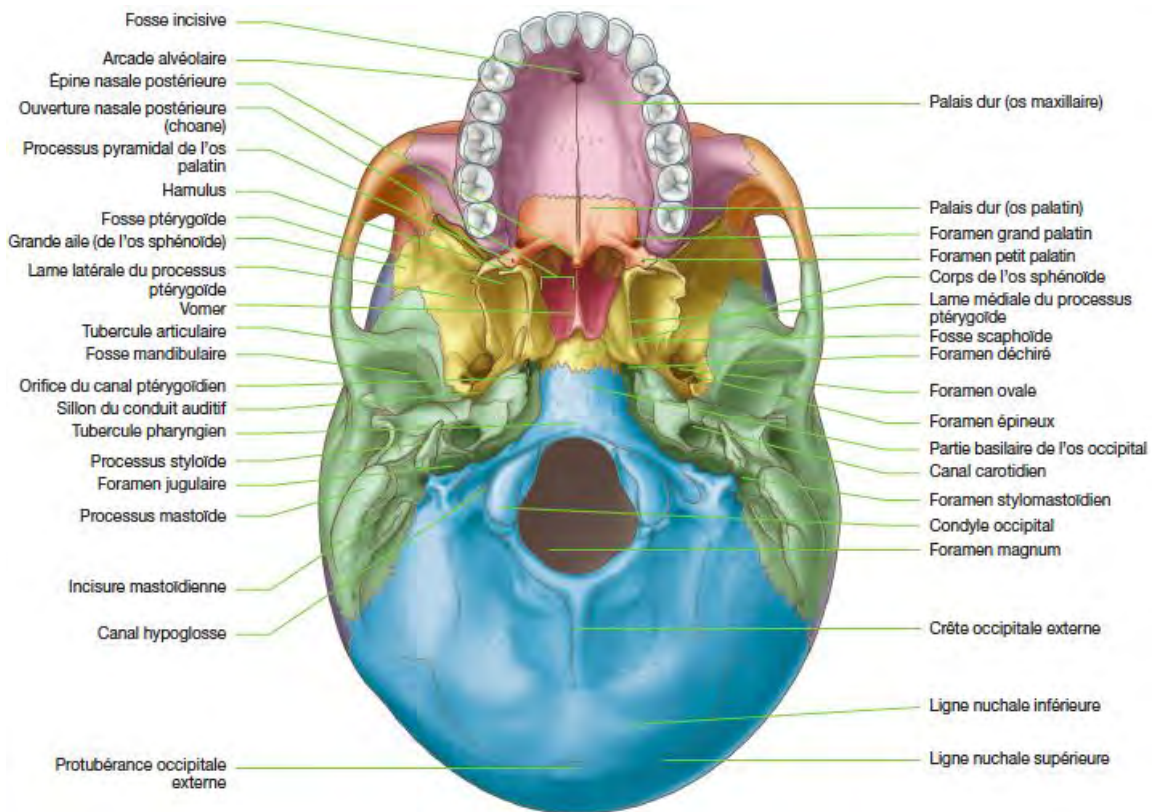


**Figure 3. Norma lateralis** d'après Dillenseger, *Atlas d'Anatomie générale et radiologique*(8)

### Norma basalis (vue inférieure)(8)

Elle correspond à la face inférieure de la tête osseuse et comprend : une partie faciale antérieure, et une partie crânienne, postérieure, séparées par la ligne bizygomatique.

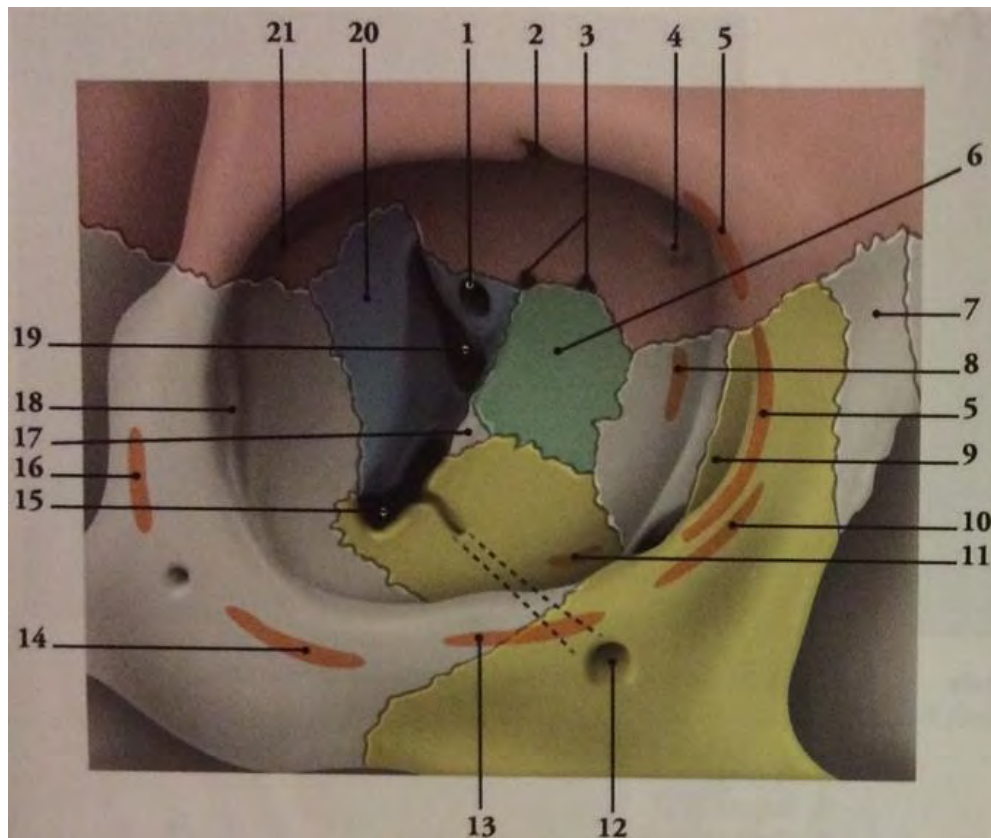
La ligne bizygomatique est tendue entre les tubercules articulaires des processus zygomatiques de l'os temporal, elle passe par le foramen ovale, le foramen déchiré et la synchondrose sphéno-occipitale.(7)



**Figure 4.** Norma basalis d'après Dillenseger, *Atlas d'Anatomie générale et radiologique*(8)

### B. L'orbite(9)

L'os zygomatique entre dans la constitution des parois inférieure et latérale de l'orbite ainsi que des bords infra-orbitaire et latéral.



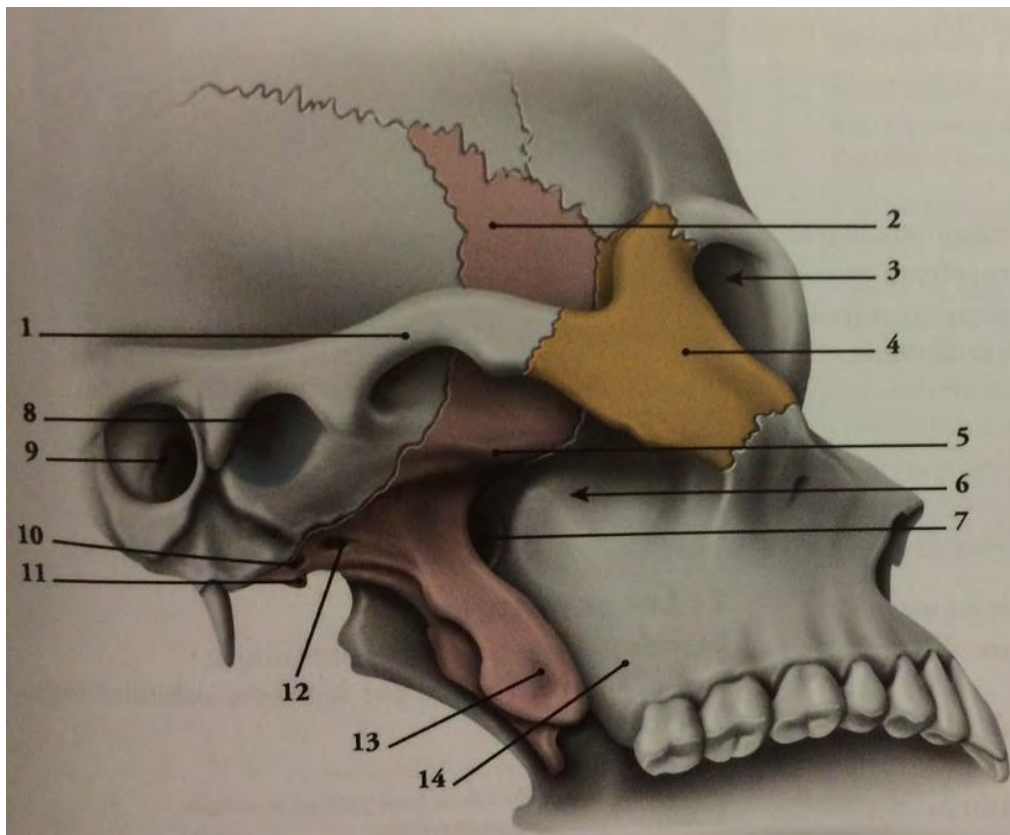
- |                                                      |                                          |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1. canal optique                                     | 11. m. oblique interne                   |
| 2. incisure supra-orbitaire                          | 12. foramen infra-orbitaire              |
| 3. foramens ethmoïdaux antérieur et postérieur       | 13. m. élévateur de la lèvre sup         |
| 4. fossette trochléaire                              | 14. m. petit zygomatique                 |
| 5. m. orbiculaire                                    | 15. fissure orbitaire inf.               |
| 6. lame orbitaire de l'éthmoïde                      | 16. m. grand zygomatique                 |
| 7. os nasal                                          | 17. processus orbitaire de l'os palatin  |
| 8. os lacrymal + partie lacrymale                    | 18. os zygomatique et éminence orbitaire |
| 9. sillon lacrymal et fosse du sac lacrymal          | 19. fissure orbitaire sup                |
| 10. m. élévateur de l'aile du nez et de la lèvre sup | 20. grande aile du sphénoïde             |
|                                                      | 21. fosse lacrymale                      |

**Figure 5. Orbite** d'après Kamina, *Anatomie clinique 3<sup>ème</sup> édition, Tome 2*(9)

### C. La fosse temporale(9)

C'est un espace limité par la ligne temporale supérieure en haut et l'arcade zygomatique en bas. Elle se prolonge en bas par la fosse infra-temporale ou ptérygo-

maxillaire. L'os zygomatique s'articule avec l'os frontal, l'écaïlle du temporal et la grande aile du sphénoïde.

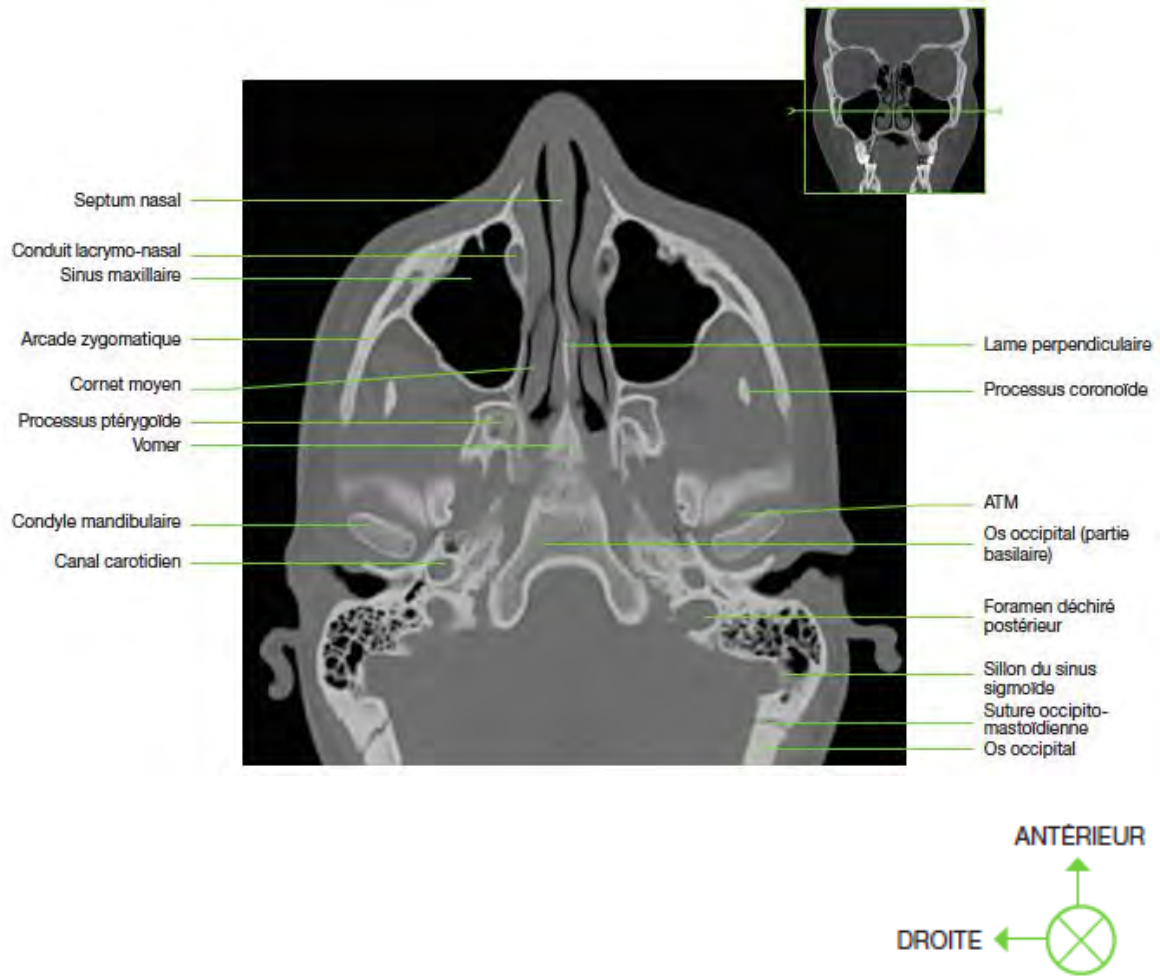


- |                               |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| 1. arcade zygomatique         | 8. fosse mandibulaire      |
| 2. grande aile du sphénoïde   | 9. méat acoustique externe |
| 3. orbite                     | 10. foramen épineux        |
| 4. os zygomatique             | 11. épine du sphénoïde     |
| 5. crête infra-temporale      | 12. foramen ovale          |
| 6. fosse infra-temporale      | 13. processus ptérygoïde   |
| 7. fissure pterygo-maxillaire | 14. maxillaire             |

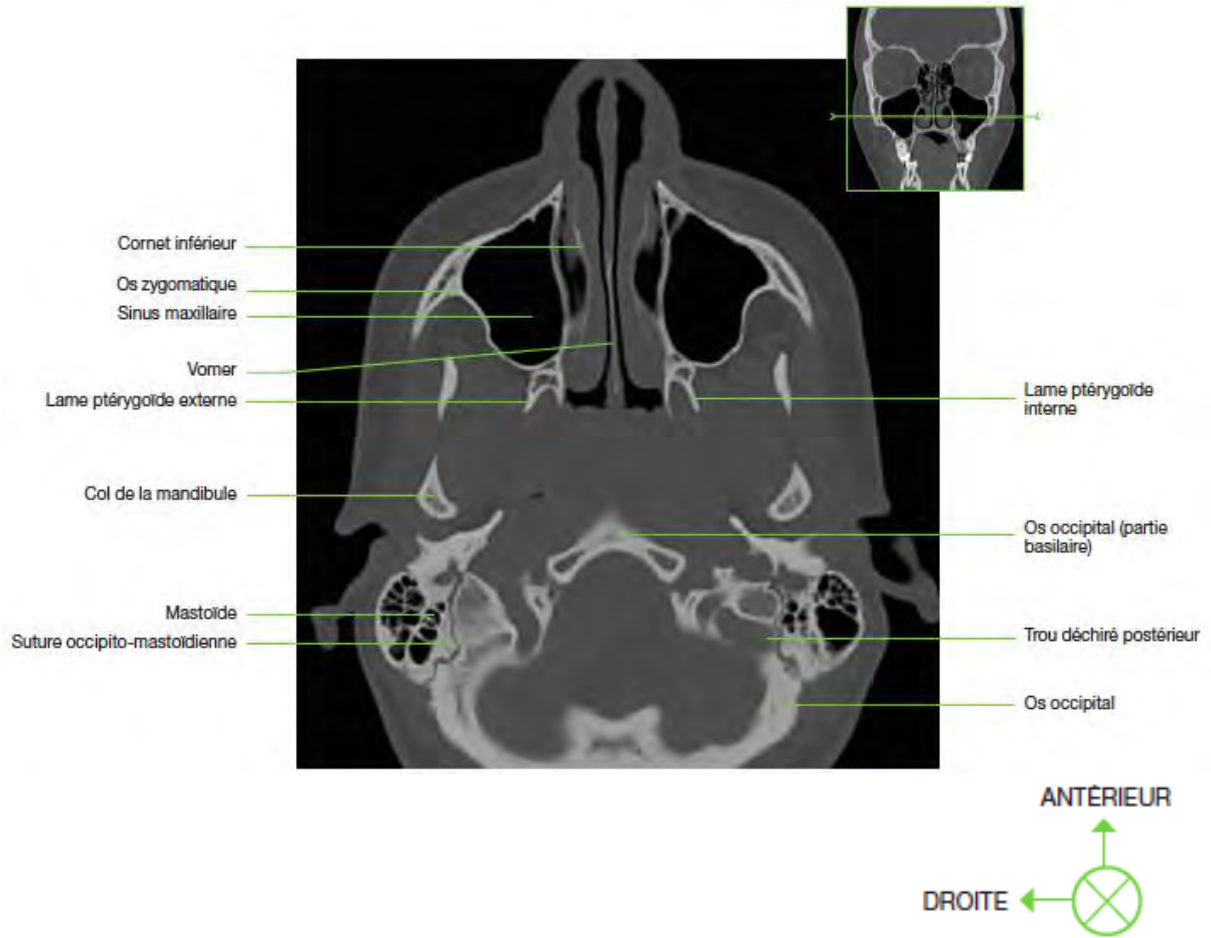
**Figure 6.** Fosse temporale et infra-temporale d'après Kamina, *Anatomie clinique 3<sup>ème</sup> édition, Tome 2*(9)

### 3. Anatomie radiologique(8)

Ne sont présentées ci-après que certains niveaux de coupes tomodensitométriques axiales passant dans la région du sommet dite de projection maximale de l'os zygomatique, objectivant ainsi les divers repères anatomiques utilisés dans ce travail.



**Figure 7.** TDM du massif facial, coupe axiale passant par le milieu de la hauteur de l'os zygomatique, fenêtre osseuse d'après Dillenseger, *Atlas d'Anatomie générale et radiologique*(8)



**Figure 8.** TDM du massif facial, coupe axiale passant par la partie inférieure du bord maxillaire de l'os zygomatique , fenêtre osseuse d'après *Dillenseger, Atlas d'Anatomie générale et radiologique*(8)

## II. Craniofaciométrie

Ci-après sont présentées les définitions des termes de biométrie impliqués dans cette étude, la situation de l'os zygomatique et de la pommette dans l'analyse faciale générale osseuse ainsi que les données actuelles de la craniofaciométrie.

**A travers les différentes descriptions des repères osseux et cutanés consensuels, nous verrons qu'aucune n'est dédiée à l'étude de l'os zygomatique. Ce constat fera partie des multiples justifications scientifiques de notre travail.**

### 1. Définitions

#### A. Craniométrie

La craniométrie est une pratique de biométrie consistant à mesurer la tête osseuse à partir de repères préalablement définis. Elle constitue de nos jours la base de l'anthropologie physique, *science de la morphologie (dite anthropométrie) et de la physiologie humaine* initiée par Broca.(7)

La craniométrie contribue à la taxinomie humaine, *science de la classification des données scientifiques*. Elle a perdu de son prestige en raison des corrélations avec l'intelligence que ses auteurs ont voulu en tirer pour élaborer un racisme scientifique et prouver l'infériorité intellectuelle de la femme. Paul Broca écrit ainsi en 1861 « Sur le volume et la forme du cerveau suivant les individus et suivant les races », ces mêmes idées sont perpétuées par son élève Gustave Le Bon vingt ans plus tard.(10) Il faudra attendre les années 1980 avec le développement de l'imagerie céphalique pour réfuter ce genre d'hypothèses.(11) L'utilisation de la craniométrie pour expliquer des aptitudes et des comportements humains doit être définitivement abandonnée.

Néanmoins, la craniométrie est très utile en

- Anthropologie,
- Médecine légale,
- Fœtologie,
- **En chirurgie céphalique pour définir les repères chirurgicaux.**

La faciométrie est aussi une pratique de biométrie consistant à analyser la face à travers différents points de repères cutanés.

#### B. Céphalométrie(12)

La céphalométrie au sens général est un procédé d'analyse crânienne et faciale obtenu à partir de l'examen clinique, de l'étude photographique et radiographique.



Il existe un sens plus restrictif à ce terme lorsqu'il correspond à l'étude crânio-faciale strictement limitée aux radiographies notamment à la téléradiographie de profil.

La céphalométrie permet d'apprécier les anomalies maxillo-mandibulaires (dysmorphoses) et dentaires : c'est une analyse fonctionnelle et esthétique très utilisée par les chirurgiens maxillo-faciaux, plasticiens et les orthodontistes. Il en existe plusieurs portant le nom de leurs auteurs et basées sur différents points d'intérêt et plans de référence. Nous ne les décrivons pas car elles n'entrent pas dans notre cadre nosologique et ostéométrique.

Cela est aisé à comprendre puisque le zygoma n'interfère pas dans les dysharmonies dento-squelettiques, ne présente pas de point aisément individualisable sur une téléradiographie de profil et n'est pas intégré dans le plan de traitement.

#### C. Anthropométrie céphalique(13)

L'anthropométrie céphalique est l'étude d'ensemble des formes et des reliefs des régions anatomiques de la tête, chez l'enfant lors de sa croissance puis chez l'adulte. Elle permet surtout l'étude des dysmorphoses de manière quantitative grâce à des mesures reproductibles sur le revêtement cutané, parfois grâce à des outils de mesure. L'extraordinaire variabilité de la face rend difficile l'examen morphométrique jugal et surtout la détermination d'écarts de normalité.

L'analyse de la pommette peut alors s'avérer imprécise et est finalement peu faite malgré des différences ethniques intéressantes.

#### D. Morphométrie(14)

La morphométrie est l'analyse quantitative de la géométrie d'objets ou d'organes. Il en existe deux approches : l'approche par contours et l'approche par régions d'intérêt (landmarks).

L'approche par points d'intérêt consiste à dégager des points de référence dans un objet. Les coordonnées de ces points sont ensuite relevées par pointeur laser ou numérisation puis une analyse statistique est réalisée.

Pour notre exposé, le terme de « morphométrie de l'os zygomatique » aurait pu être séduisant par son concept d'analyse géométrique, néanmoins à aucun moment nous n'appliquerons la méthode d'acquisition des données quantitatives de la morphométrie standard et encore moins son analyse statistique dédiée. Ce terme a donc été délaissé pour ne pas engendrer d'incompréhension ou pire de mésusage.

#### E. Ostéométrie(15)

L'ostéométrie est aussi une pratique de biométrie consistant à recueillir et analyser les mensurations des os et du squelette. L'ostéométrie trouve la majeure partie de ses applications en anthropologie physique et en paléopathologie.

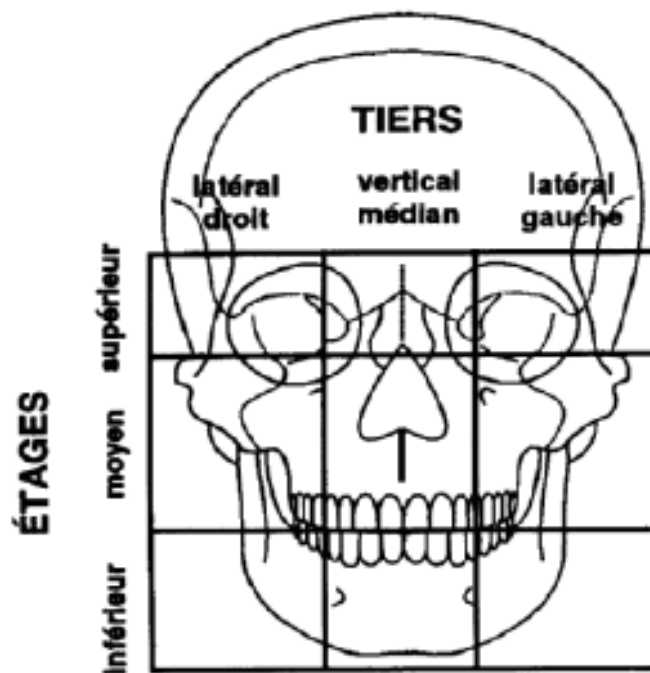
Nous avons choisi le terme d'ostéométrie pour notre étude de la morphologie tomographique de l'os zygomatique.

## 2. Repères osseux

### A. Étages et secteurs dans l'analyse faciale(16)

La face osseuse est divisée en trois étages horizontaux. Le massif facial supérieur contient le pilier frontal de l'os zygomatique ; Le massif facial moyen contient le processus temporal de l'os zygomatique.

Ces trois étages sont divisés en trois parties égales verticales. Les tiers verticaux externes comprennent entre autre, le relief des pommettes.

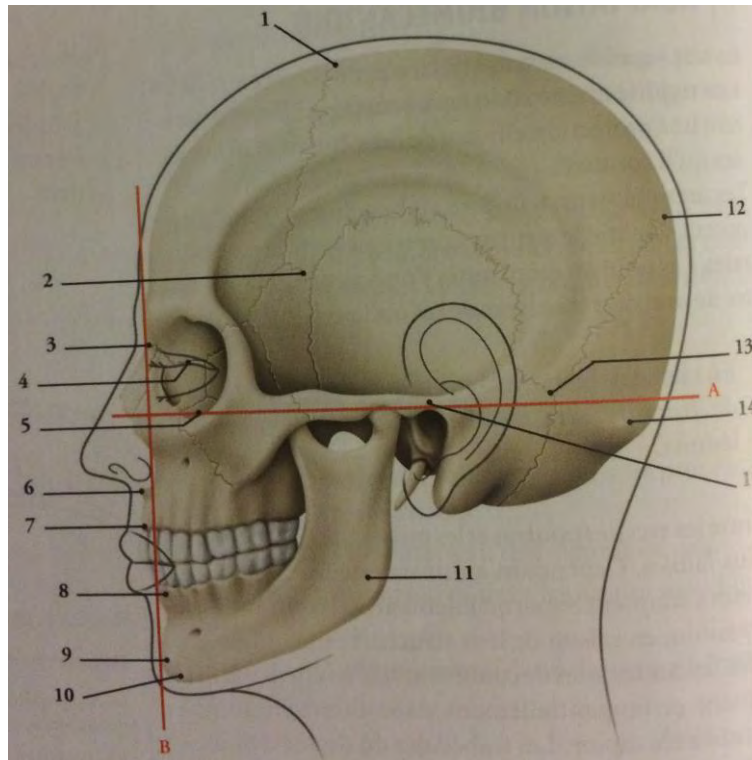


**Figure 9.** Les étages et secteurs de la face d'après Pons, *Sectorisation traumatologique*, (16)

### B. Description

La position anatomique du crâne est telle que le rebord infraorbitaire et le bord supérieur du méat acoustique externe se trouvent alignés dans le même plan horizontal appelé plan de Francfort.

**Le plan de Francfort sera le référentiel spatial des tomographies de notre étude.**



A. Plan de Francfort

B. Plan facial

1. bregma

2. pterion

3. nasion

4. dacryon

5. point orbitaire inférieur

6. acanthion (épine nasale antérieure)

7. prosthion (alvéolaire supérieur)

8. point alvéolaire inférieur

9. pogonion

10. gnathion

11. gonion

12. lambda

13. astérion

14. inion

15. porion

**Figure 10.** Points osseux craniométriques d'après Kamina, *Anatomie Clinique 3<sup>ème</sup> édition, Tome 2(7)*

**Aucun point, angle ou plan ne prend en considération la morphologie du zygoma.**

Nous ne présenterons pas en détail les repères cutanés de la face car notre étude n'a pas été mise en œuvre sur les parties molles jugales.

Par ailleurs, le seul point craniométrique susceptible de nous intéresser aurait été le zygion : toutefois il est très latéral sur l'arcade zygomatique et n'est pas le reflet de l'éminence zygomatique ou sommet du zygoma.

~

Notre travail étudie la morphologie de l'os zygomatique en évaluant la position de son sommet dans un plan axial en situation physiologique et pathologique. **Nous ne pourrions pas nous appuyer sur les données classiques et fondamentales d'analyses craniofaciométriques proposées dans nos nombreuses encyclopédies médicales et chirurgicales car elles ne se concentrent pas sur le zygoma.**

Nous allons à présent nous concentrer sur la pommette fracturée. Nous détaillerons les mécanismes et les classifications des fractures.

Nous expliquerons aussi les méthodes diagnostiques et thérapeutiques organisées des fractures selon leur topographie et leur gravité. Nous développerons naturellement le concept de chirurgie assistée par ordinateur. Nous pourrions alors dans un chapitre futur, évaluer les pratiques chirurgicales du service de chirurgie maxillo-faciale du CHU de Toulouse du Pr Boutault.

~

### III. Fracture de l'os zygomatique

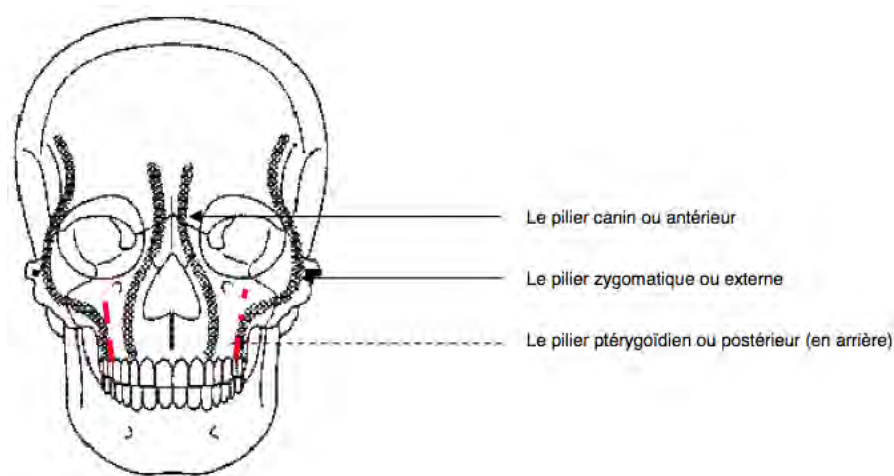
#### 1. Biomécanique faciale

##### A. Description générale

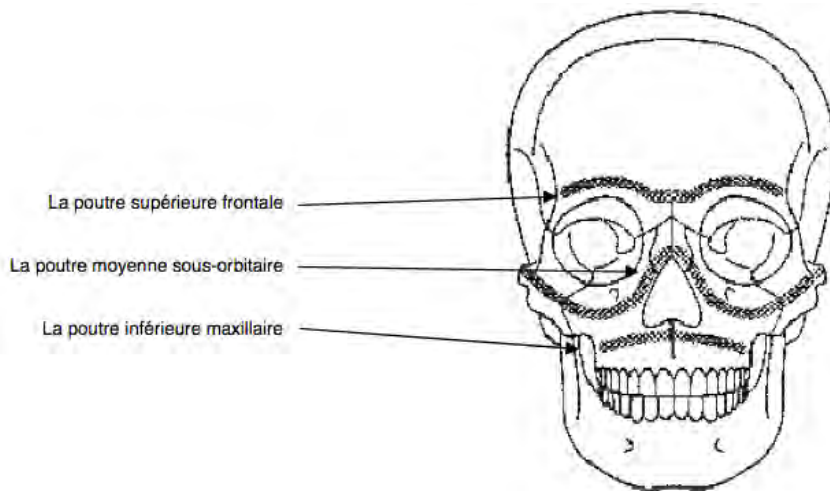
L'architecture osseuse faciale est capable d'absorber les forces verticales et horizontales, et de s'opposer à toutes les sollicitations mécaniques en créant un système d'amortissement et de stabilisation.

La face présente à l'encontre des chocs éventuels des structures anatomiques verticales, Sicher les baptise « piliers de la face ». Ils sont au nombre de trois : pilier canin, **zygomatique** et ptérygoïdien.(17)(18)

Ombredanne, découvre l'existence de poutres de résistance horizontales qui solidarisent en fait les piliers de Sicher : poutre inférieure, **moyenne** (ou **arc zygomatique**) et supérieure.(19)

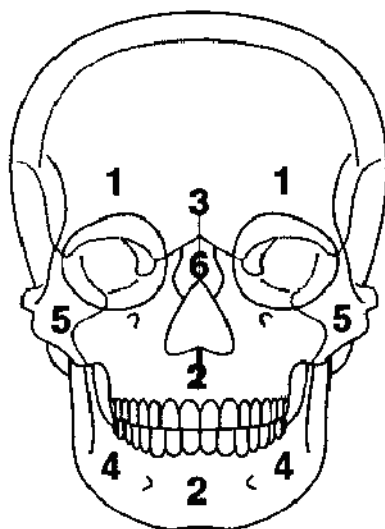


**Figure 11.** Le système de résistance verticale d'après Sicher(20)



**Figure 12.** Le système de résistance horizontale d'après Ombredanne(20)

A ces piliers et poutres s'ajoutent des pare-chocs faciaux au nombre de cinq de haut en bas : frontal, nasal, **deux zygomatiques**, pré-maxillaire et symphysaire mandibulaire. Ils permettent de protéger les structures nobles sous-jacentes : l'orbite pour l'os zygomatique, mais cette proéminence les expose aux fractures.



1. Bosses frontales
2. Suture intermaxillaire et symphyse mentonnière
3. Glabellle
4. Parasymphyse
- 5. Os zygomatique**
6. Pyramide nasale

**Figure 13.** Les pare-chocs de la face d'après Couly(20)

Cette architecture de la face permet d'établir la topographie des zones de moindre résistance ou de faiblesse, étudiées par Lefort. Les lignes de Lefort indiquent les zones préférentielles des traits de fractures de l'étage moyen de la face.(21)

Aussi, la morphologie du pilier zygomatique et la bioarchitecture osseuse (répartition de l'os compact et spongieux) permettent de comprendre les fractures impliquant l'os zygomatique.

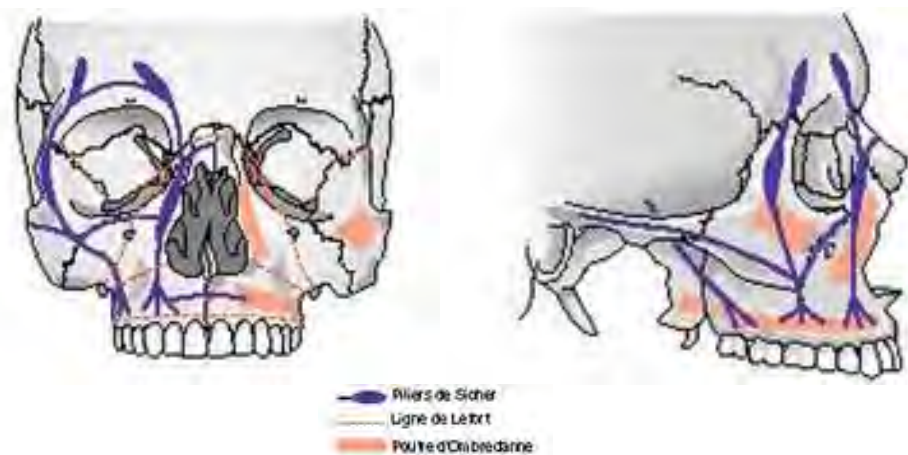
### B. Description des piliers zygomatiques

Les consoles externes maxillo-zygomatico-frontales sont symétriques et constitués d'os compact orienté verticalement et horizontalement. Elles sont contournées en S italique et se jettent dans le cintre sus-orbitaire, dans sa partie externe.

Au niveau de l'os zygomatique, la console envoie deux entretoises :

- Une sous-orbitaire allant rejoindre le pilier antérieur en constituant l'os compact du rebord infra-orbitaire
- Une zygomatique(5)

L'os zygomatique apparaît comme un solide arc boutant jeté entre le maxillaire d'une part et les 3 os du crâne formant la fosse temporale



Visualisation du pilier zygomatique (console maxillo-zygomatique s'étendant à l'os frontal au niveau du cintre sus-orbitaire) et son entretoise sous orbitaire et zygomatique.

**Figure 14.** Les piliers et les poutres de l'architecture faciale d'après *Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie*, 2<sup>ème</sup> édition(22)

**« The malar bone represents a strong bone on fragile supports, and it is for this reason that, though the bone is rarely broken, the four processes : frontal, orbital, maxillary and zygomatic are fréquent sites of fracture »**

**H.D Gillies, T.P Kilner and D.Stone, 1927(23)**



## 2. Epidémiologie(24)

Les fractures de l'os zygomatique surviennent lors des traumatismes à haute vitesse et sont fréquemment associées à d'autres lésions.(25)

Les étiologies sont variées et dépendent des habitudes et du lieu de vie, de la culture des individus, et des tendances socioéconomiques.

Les plus habituelles sont :

- Les accidents de la voie publique
- Les chutes ou autres accidents domestiques
- Les accidents de sport
- Les accidents du travail
- Les rixes

D'après une étude récente européenne, les fractures du massif facial concernent majoritairement les hommes avec un sexe ratio de 3,6.

L'âge moyen de survenue varie de 29,9 à 43,9 ans. Il est en moyenne de 33 ans en France.

L'étiologie principale est l'acte de violence puis les chutes. Il est de nos jours indéniable qu'il existe une diminution des fractures causées par les accidents de la route au profit d'une franche augmentation de celles survenant lors de rixes.

Les fractures du complexe orbito-zygomatique-maxillaire sont les deuxièmes plus fréquentes en Europe après les fractures de mandibules. Elles constituent 24% des fractures maxillo-faciales. Ensuite, arrivent les fractures du plancher de l'orbite et des os propres du nez.

En France, ces fractures sont les quatrièmes en fréquence successivement après les fractures des os propres du nez, de la mandibule et du plancher de l'orbite. A noter qu'il existe une grande variabilité entre les centres.

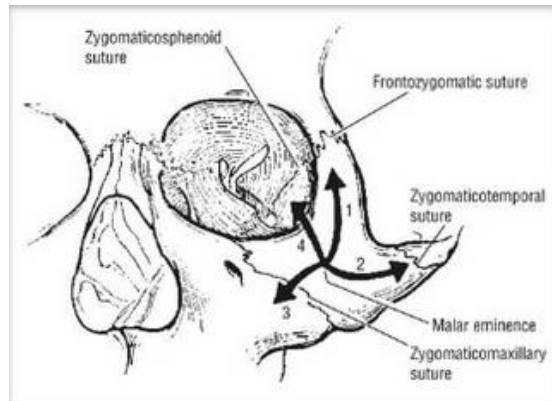
## 3. Description

### A. Fractures de l'os zygomatique et du complexe zygomatique

Le complexe zygomatique ou orbito-zygomatique-maxillaire doit être considéré comme un quadripode.(6)(26)(27) La paroi orbitaire latérale constitue la base de ce quadripode, les quatre branches étant : le rebord infraorbitaire dans sa partie latérale, le rebord orbitaire latéral, la console zygomatique-maxillaire et l'arcade zygomatique.

Les fractures de l'os zygomatique peuvent concerner une ou plusieurs sutures, et/ou l'arcade zygomatique.

Les fractures dites du complexe zygomatique concernent les quatre branches du quadripode en association avec une fracture de la paroi orbitaire latérale (suture zygomatique-sphénoïdale) et de l'arcade zygomatique. Il s'agit d'une disjonction de l'os zygomatique sur toutes ses attaches.(27)



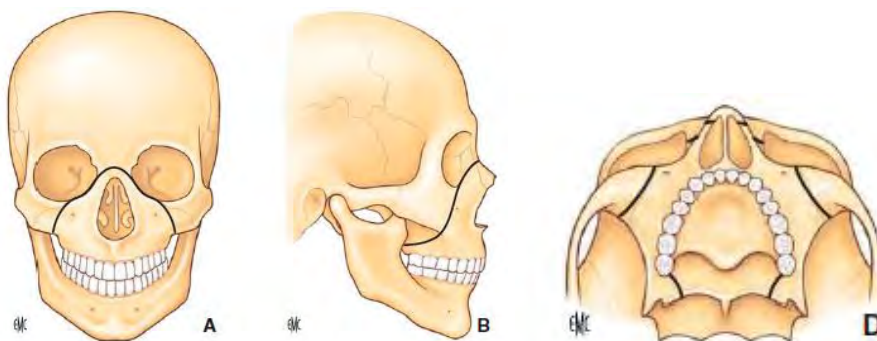
**Figure 15.** Le complexe zygomatique et ses quatre branches d'après Meslemani (28)

### B. Fractures occluso-faciales(29)

L'os zygomatique, os de voisinage du maxillaire, peut être atteint lors des fractures occluso-faciales dites de Lefort, de type II et III.

#### La fracture de Lefort II

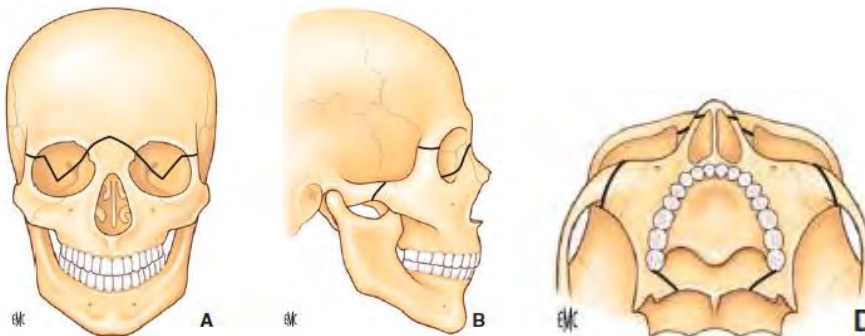
Le traumatisme est direct selon un vecteur antéro-postérieur ou indirect par un impact latéral sur l'os zygomatique.



**Figure 16.** Fracture de Lefort II d'après EMC stomatologie(29)

## La fracture de Lefort III

Elle est due à un choc violent selon un vecteur antéro-postérieur entraînant une disjonction crânio-faciale. Ce mécanisme traumatique ne peut entraîner que très rarement des Hémi-Lefort III.



**Figure 17.** Fracture de Lefort III d'après *EMC stomatologie*(29)

**Nous n'incluons que les fractures de Lefort II et III unilatérales dites d'hémi-Lefort II et III.  
(Les hémi-Lefort III sont rarissimes du fait de la mécanique fracturaire.)**

### 4. Classification

Nous ne développerons que la classification de Knight et North et la classification de Zingg, consensuelles et utilisées dans notre exposé.

#### A. Classification de Knight and North(26)

La classification de Knight and North date de 1961. Elle a été élaborée dans le but d'évaluer de manière prospective la stabilité de la réduction des fractures zygomatiques et est basée sur l'anatomie et le déplacement de l'os fracturé.

Elle est établie en fonction d'une étude sur clichés radiographiques en incidence occipito-mentonnaire.

Il existe 6 groupes de fractures :

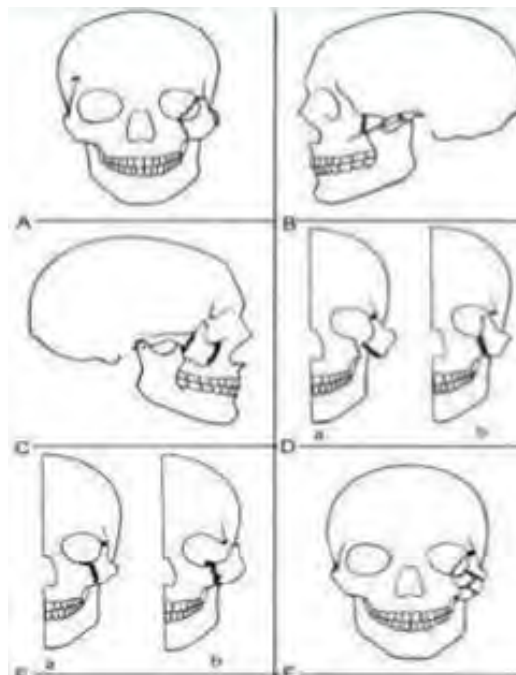
- **Groupe 1** : fracture non déplacée
- **Groupe 2** : fracture isolée de l'arcade zygomatique
- **Groupe 3** : fracture disjonction sans rotation
- **Groupe 4** : fracture disjonction avec rotation médiale du corps de l'os zygomatique.

Il y a deux sous groupes pour lesquels le zygoma est déplacé en dessous du rebord infra-orbitaire : le 4A avec déplacement vers l'extérieur de la console zygomatoco-maxillaire et le 4B avec déplacement vers l'intérieur de la suture frontozygomatique.

- **Groupe 5** : fracture disjonction avec rotation latérale du corps de l'os zygomatique. Il y a deux sous-groupes pour lequel le zygoma est déplacé en dedans de la console zygomatoco-maxillaire : 5A avec déplacement au dessus du rebord infraorbitaire et 5B avec déplacement en dehors de la suture frontozygomatique.

Dans notre étude, la classification en sous-groupe A et B n'a pas été utilisée.

- **Groupe 6** : fracture comminutive



- A : groupe 1
- B : groupe 2
- C : groupe 3
- D : groupe 4 avec 4A et 4B
- E : groupe 5 avec 5A et 5B
- F : groupe 6

**Figure 18. Classification de Knight and North**

Les principaux inconvénients de cette classification sont sa relative ancienneté et surtout **son interprétation purement radiographique.**

**Par sa nature prédictive des résultats de la chirurgie, mais aussi par son analyse anatomique des déplacements fracturaires, il nous a paru pertinent d'utiliser cette classification pour notre échantillon de patients fracturés.**

## B. Classification de Zingg(27)

La classification de Zingg est une classification des fractures de l'os zygomatique basée sur l'anatomie de l'os zygomatique.

Dans son travail datant de 1992, Markus Zingg insiste sur la rectification du terme erroné de fracture tripode de l'os zygomatique largement usité à l'époque et suggère l'utilisation préférentielle du terme « quadripode » ; La suture avec la grande aile du sphénoïde doit aussi être prise en compte dans les fractures disjonction.

Cette classification a aussi une valeur prédictive des résultats de la chirurgie.

Pour lui, une fracture déplacée de l'os zygomatique s'accompagne par définition d'une fracture du plancher de l'orbite. La réparation de la paroi et du rebord externes de l'orbite fait tout l'enjeu de la chirurgie.

Il existe 3 grands types de fracture :

- **Type A** : fracture isolée de l'un des 2 processus de l'os zygomatique ou de la console zygomatoco-maxillaire traduit littéralement de l'Anglais par « fracture zygomatique incomplète ».

Ces fractures sont dues à des traumatismes à basse énergie. Il en existe 3 sous-types :

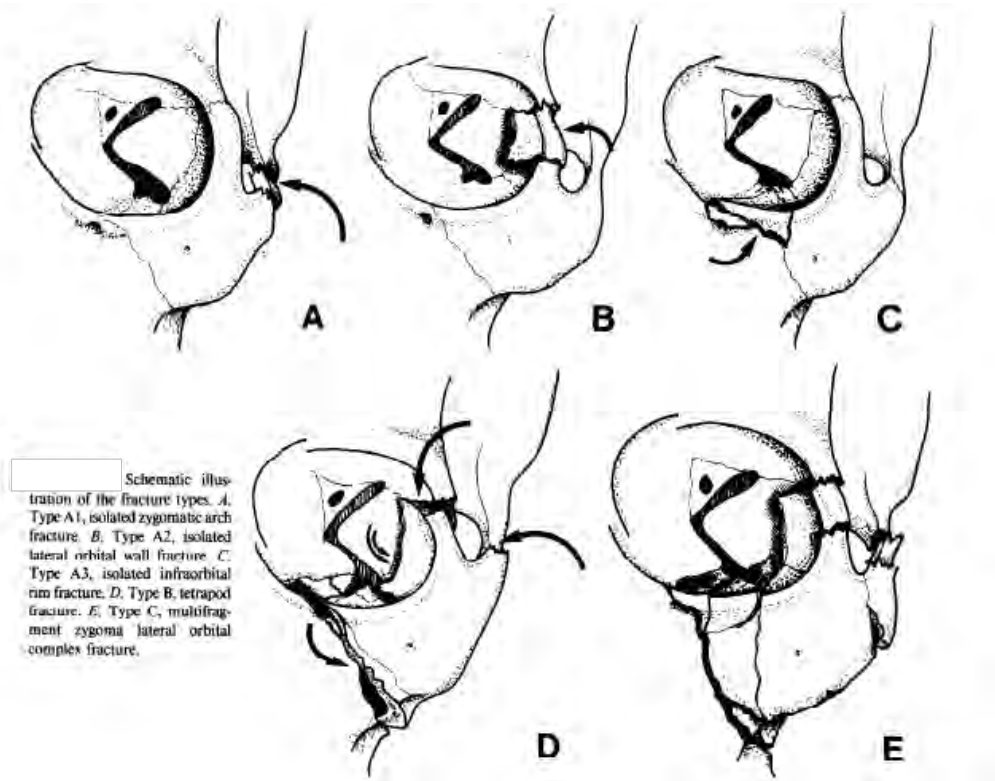
A1 : Fracture isolée de l'arcade zygomatique,

A2 : Fracture isolée de la paroi latérale de l'orbite,

A3 : Fracture isolée du rebord infra-orbitaire.

- **Type B** : fracture tétrapode ou fracture disjonction traduit littéralement de l'anglais par « fracture zygomatique complète monofragmentaire ». Les quatre branches de l'os zygomatique sont fracturées occasionnant un déplacement de celui-ci.

- **Type C** : fracture comminutive, elle correspond au fracture de type B mais multifragmentaire incluant le corps de l'os zygomatique.



**Figure 19.** Classification de Zingg d'après Zingg et al.(27)

**De par son analyse anatomique des fractures, sa concision et sa précision, il nous a paru pertinent d'utiliser cette classification.**

### C. Autres classifications

Nous mentionnons ici une liste non exhaustive des nombreuses classifications des fractures de l'os zygomatique, sans les détailler car elles ne sont pas intégrées dans notre étude. La progression de l'imagerie diagnostique et per opératoire, ainsi que l'évolution des techniques chirurgicales sont les raisons essentielles du renouvellement des classifications ou d'une volonté d'amélioration des anciennes.

**Classification de Schjelderup (1950)(30)**

**Classification de Rowe et Killey (1968)(31)**

**Classification de Yanagisawa (1973)(32)**

**Classification de Larsen et Thomsen (1978)(33)**

**Classification de Fujii et Yamashiro (1983)(34)**

**Classification d'Ellis (1985)(35)**

**Classification de Manson (1990)(36)**

Parmi les classifications les plus récentes :

**Classification d'Ozyazgan (2007)(37)**

**Classification d'Ogata et Kishi (2013)(38)**

## 5. Diagnostic radiologique

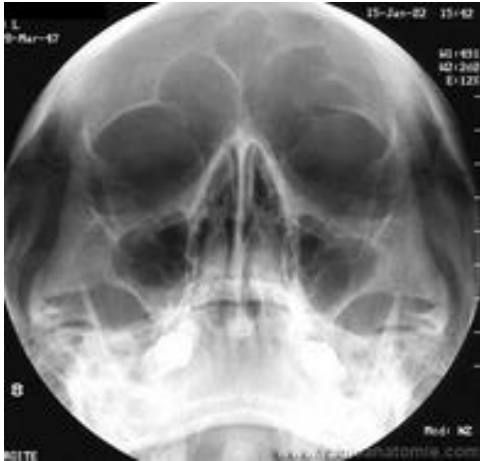
Nous ne détaillerons pas le diagnostic clinique.

### A. Clichés radiographiques standard

Ils ne sont que très peu utilisés en diagnostic à ce jour. Ils servent davantage pour certaines équipes chirurgicales au contrôle post opératoire. En effet, les clichés radiographiques restent la référence des examens paracliniques de contrôle post-opératoire.(39)

Il existe 3 incidences intéressantes pour l'étude de l'os zygomatique fracturé et surtout pour l'étude de l'os zygomatique réparé :

- **L'incidence de Blondeau** (patient en procubitus, menton contre la table) ou **l'incidence de Waters** (patient en procubitus, menton et nez contre la plaque).



Incidence de Blondeau



Incidence de Waters

**Figure 20.** Radiographie normale en incidence de Blondeau et de Waters

- **L'incidence de Hirtz latéralisé** (patient en décubitus, vertex contre la table, tête tournée à 5° du côté à photographier) : elle permet de dérouler l'arcade zygomatique.



Incidence de Hirtz latéralisé

**Figure 21.** Radiographie normale en incidence de Hirtz latéralisée

En 2008, en France, la Haute Autorité de Santé a conclu, dans un rapport d'évaluation technologique intitulé « *Indications de la radiographie du crâne et/ou du massif facial* » sur l'inutilité des radiographies standards dans les lésions du tiers moyen de la face. La tomodensitométrie du massif facial est l'examen diagnostique de référence.(40)



## B. Tomodensitométrie

### **C'est l'examen diagnostique de référence.(41)**

La tomodensitométrie ou CT Scan (computerized tomography) permet d'obtenir en un temps très court et sans manipulation excessive du patient des images précises dans les plans axial et coronal en acquisition directe et dans un troisième plan par reconstruction. Ce procédé permet aussi d'obtenir des images tridimensionnelles reconstituant assez fidèlement les traits de fracture et les déplacements. En fait, le scanner effectue plusieurs coupes linéaires se superposant lors de multiples rotations du système en utilisant un faisceau de rayons X minces.

L'étude de la fracture doit essentiellement se concentrer sur les coupes axiales et coronales. En cas de fracture plurifragmentaire, la reconstruction 3D peut être utile pour guider la prise en charge.

## C. Cone Beam ou tomographie à faisceau volumique de la face

Cette technique sectionnelle autorise une imagerie de l'ensemble du massif facial ainsi que dento-maxillaire. Le Cone Beam se distingue du scanner traditionnel en travaillant avec un faisceau ouvert, conique, ce qui lui permet en une seule révolution de balayer l'ensemble de volume à radiographier. Cette technique est jugée très prometteuse en raison de sa faible dosimétrie et du caractère tridimensionnel de son image possible.(42)

Selon la Haute Autorité de Santé, dans le rapport d'évaluation technologique en date de 2009 et s'intitulant « *Tomographie à faisceau conique de la face (Cone Beam computerized tomography)* », le CBCT pourrait se substituer au scanner dans des cas sélectionnés à condition :

- Qu'une exploration des tissus mous ne soit pas requise
- Que le niveau d'irradiation soit moindre que celui obtenu avec l'imagerie scanner, au regard du principe de radioprotection.

Toujours, selon la Haute Autorité de Santé, des études cliniques préliminaires soulignent la faisabilité technique et les perspectives associées à la navigation chirurgicale avec imagerie per-opératoire CBCT. Néanmoins, des études complémentaires contrôlées sont nécessaires pour en évaluer les bénéfices potentiels.(43)(44)

Certaines équipes l'utilisent pour réaliser le bilan diagnostique pré et post-opératoire et aussi, d'ores et déjà en dispositif per-opératoire de contrôle (cf. Chapitre II).

L'imagerie par résonance magnétique et l'ultrasonographie n'ont aucun intérêt dans la prise en charge primaire.

## 6. Traitement

La prise en charge des fractures de l'os zygomatique et de l'arcade zygomatique dépend du degré de déplacement, du préjudice esthétique et du retentissement

fonctionnel. Le traitement peut aller de la simple attente de la fonte de l'œdème à la chirurgie à ciel ouvert avec fixation interne.

Le chirurgien doit choisir l'option thérapeutique la plus adaptée en fonction de l'histoire du traumatisme, de l'examen physique et de l'examen radiologique.(45)

Tout traitement chirurgical doit reposer sur un bilan préopératoire complet comprenant un scanner avec coupes axiales et coronales. Les classifications des fractures sont alors utiles pour planifier le protocole de prise en charge mais aussi pour avoir une idée du pronostic.

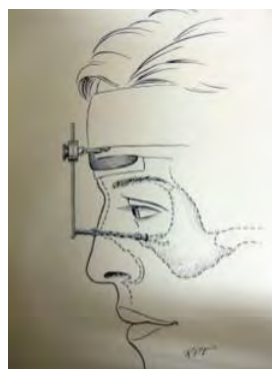
#### A. Historique

**Duverney** en 1751 a été le premier chirurgien à décrire une réduction par manœuvre externe endobuccale des fractures de l'arcade zygomatique.(46) Il utilisait la pression de son propre doigt glissé en situation intraorale contre l'arcade zygomatique déprimée. En parallèle, était demandé au patient de mordre dans un morceau de bois : la force de contraction du muscle temporal cumulée à la pression de dedans en dehors du doigt du chirurgien permettait de réduire l'arcade fracturée.

**Keen** en 1909 décrit une méthode indirecte de réduction par voie d'abord vestibulaire supérieure très critiquée à l'époque car on craignait des contaminations septiques des fractures.

**Goldthwaite** en 1924, décrit aussi une voie d'abord endobuccale.(47) Un élévateur était glissé en arrière de la tubérosité maxillaire à travers une incision dans la commissure intermaxillaire : une pression en avant était alors exercée pour réduire l'arcade.

**Kazanjian et Converse** en 1927 décrivent une traction sur fil d'acier de l'os zygomatique sur une visière.(48)



**Figure 22.** La traction sur fil d'acier d'après Kazanjian(48)

En 1977, Quinn modifie la voie d'abord endobuccal de Goldthwaite. Il préconise une voie d'abord vestibulaire supérieure s'étendant jusqu'au processus coronoïde et au ramus de la mandibule, permettant de visualiser l'arcade zygomatique. Un élévateur était alors placé entre le processus coronoïde et l'arcade déprimée pour la réduire.

Concernant les méthodes extra-orales, la première a été décrite par **Gillies** en 1927, et utilise une voie d'abord temporale.(23) La technique par crochet percutané a été proposée plus tard et est largement expliquée dans l'article de Zingg.(27)

Depuis plus de 30 ans, on assiste à une recrudescence des réductions à ciel ouvert avec ostéosynthèse, notamment pour les fractures du complexe zygomatique. C'est **Michelet** en 1973 qui a décrit les premières ostéosyntheses par miniplaques vissées.

Par exemple, Zachariadis et al. prenaient en charge dans le milieu des années 1980 environ 45% des fractures du complexe zygomatique de basse et moyenne énergie par méthode de Gillies ; alors qu'en 1995 seulement 2,5% étaient traités de cette manière.(49)

#### B. L'abstention chirurgicale

Les fractures peu ou non déplacées de l'os zygomatique et/ou de l'arcade zygomatique ne nécessitent pas de correction chirurgicale. Dans la mesure où ces fractures n'entraînent pas de retentissement esthétique et fonctionnel, une simple observation clinique est préconisée.

Un trouble oculomoteur et une énoptalmie doivent absolument être recherchés après fonte de l'œdème en cas de fracture du complexe zygomatique.

#### C. Les standards de l'AOCMF(50)(51)

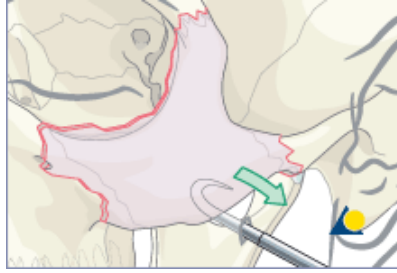
*L'AO foundation a été fondée en Suisse en 1958 par un groupe d'étude nommé « Arbeitsgemeinschaft für osteosynthese » ou « Association pour l'étude de l'ostéosynthèse ». Cet organisme est voué à l'amélioration de la prise en charge des patients atteints de lésions musculosquelettiques du massif facial et de leurs séquelles, à travers la recherche, le développement, l'assurance qualité et l'éducation des futurs chirurgiens maxillo-faciaux.(52)*

Souvent, la corporation des chirurgiens maxillo-faciaux utilise les standards édités par l'AOCMF pour orienter leur prise en charge chirurgicale. La règle générale est d'ostéosynthéser de haut en bas et de dehors en dedans.(53)(54)

#### **Procédés indirects**

Ce sont des techniques fermées dont le but est de réduire le complexe zygomatique ou son arcade. Pour utiliser ces procédés, le patient ne doit pas avoir de défaut orbitaire et surtout pas de déplacement de la suture zygomatico-frontal.

- **Technique percutanée au crochet de Ginestet(27)** : il semblerait que cette technique ait été décrite la première fois en 1794 par **Wiseman**.



**Figure 23.** Technique percutanée au crochet, d'après AOCMF, *AO Surgery Reference*

- **Technique percutanée par traction vissée** : elle peut être réalisée par une vis de Carroll Girard et est recommandée par certains auteurs car elle permet un mouvement de réduction en 3 dimensions.(55)(56)



**Figure 24.** Technique percutanée par traction vissée, d'après AOCMF, *AO Surgery reference*

- **Voie d'abord temporale de Gillis** : elle est surtout utilisée pour réduire les fractures de l'arcade zygomatique.(23)



**Figure 25.** Technique indirecte sur voie d'abord temporal de Gillis, d'après AOCMF, *AO Surgery Reference*

Pour certaines fractures de l'arcade zygomatique, plusieurs auteurs ont décrit l'utilité de l'interposition de matériel temporaire en dedans de l'arcade visant à maintenir la réduction (morceau de sonde nasogastrique, sonde urinaire, etc.) ou parfois d'un packing de la fosse temporale.(57)(58)(59).

- **Voie d'abord endobuccale de Keen** : bien que ce soit une technique indirecte, c'est elle qui donne le meilleur accès à l'os zygomatique et son arcade. Une incision vestibulaire supérieure homolatérale à la fracture est réalisée.



**Figure 26.** Technique indirecte sur voie d'abord de Keen, d'après AOCMF, *AO Surgery Reference*

### Procédés directs

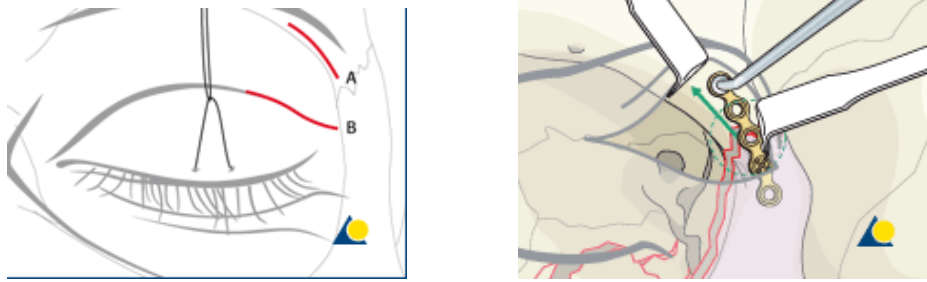
Ces techniques ouvertes sont indiquées en cas de fractures déplacées du complexe zygomatique et en cas de nécessité de réfection des parois ou du plancher de l'orbite.

Une réduction anatomique est impérative pour reproduire la conformation originale du complexe zygomatique et l'alignement des parois de l'orbite. Pour réduire précisément la paroi latérale de l'orbite, il faut insister sur le rétablissement des rapports anatomiques entre la grande aile du sphénoïde et l'os zygomatique.

Les buts de la chirurgie sont de restaurer le volume orbitaire, la projection, la largeur et la hauteur du tiers moyen de la face.

**Les différentes voies d'abord sont présentées dans l'ordre « idéal » de réparation selon l'AOCMF.**

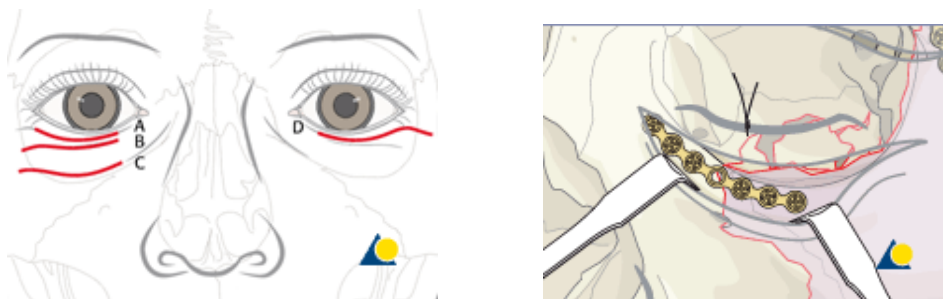
- **Voie d'abord de la suture zygomatiko-frontale** : il existe deux voies d'abord transcutanées du bord supéro-externe de l'orbite que la voie d'abord supra-orbitaire sourcilière et palpébrale supérieure. Kung et Kaban utilisent une voie supratarsale.(60)



- A. Voie d'abord supra-orbitaire dite sourcilière
- B. Voie d'abord palpébrale supérieure

**Figure 27.** Technique directe de réduction-ostéosynthèse de la suture zygomatico-frontale, d'après AOCMF, AO Surgery Reference

• **Puis voie d'abord transcutanée du rebord infra-orbitaire (61)(62):** il existe trois voies d'abord transcutanées palpébrales inférieures pour accéder à la margelle infra-orbitaire et au rebord latéral de l'orbite. Il s'agit des voies sous-ciliaire (dite de la blépharoplastie), sous-tarsale (ou palpébrale inférieure moyenne) et infraorbitaire



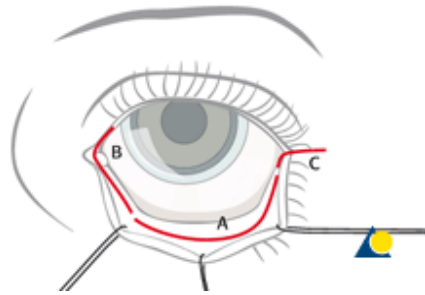
- A. Voie sous-ciliaire
- B. Voie sous-tarsale
- C. Voie infraorbitaire
- D. Voie sous-ciliaire élargie

**Figure 28.** Technique directe transcutanée de réduction-ostéosynthèse du rebord infraorbitaire, d'après AOCMF, AO Surgery Reference

Ces voies d'abord transcutanées sont pourvoyeuses de complications ophtalmologiques : ectropion, entropion, épiphora, scléral show... (63)(64) Elles sont de ce fait de plus en plus critiquées par certains auteurs qui font en sorte de les utiliser en dernier recours. La voie d'abord transconjonctivale doit alors être privilégiée pour

exposer le rebord infra-orbitaire : elle est moins sujette aux séquelles.(63)(64)(65)(66)(67)

- **Qu** voie d'abord transconjonctivale du rebord infra-orbitaire : la voie d'abord transconjonctivale a été décrite par Tessier. Il en existe trois qui peuvent être combinées entre elles et qui sont les voies d'abord transconjonctivale, transcaronculaire et transconjonctivale avec canthotomie latérale. Leur net avantage est l'absence de cicatrice cutanée, néanmoins l'accès à la margelle infra-orbitaire est limitée.



- A. Voie transconjonctivale
- B. Voie transcaronculaire (ou transconjonctivale médiale)
- C. Voie tranconjonctivale avec canthotomie latérale

**Figure 29.** Voie d'abord transconjonctivale du rebord infraorbitaire, d'après AOCMF, *AO Surgery Reference*

- **Voie d'abord intra orale du cintre zygomatico-maxillaire** : cette voie est vestibulaire supérieure. Le cintre doit être le dernier site ostéosynthésé. C'est donc à ce stade une fixation du complexe zygomatique à 3 points. On peut s'en arrêter là dans le protocole.



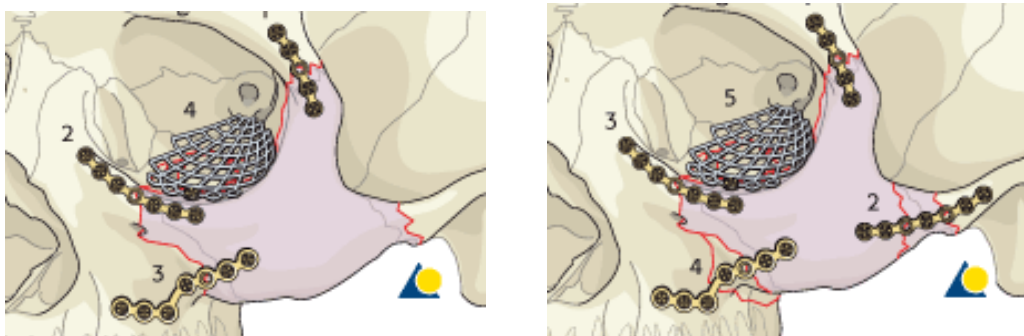
**Figure 30.** Technique directe de réduction-ostéosynthèse de la console zygomatico-maxillaire, d'après AOCMF, *AO Surgery Reference*

- **La voie d'abord coronale** doit être étudiée à part. Elle permet l'ostéosynthèse de l'arcade zygomatique. L'ostéosynthèse par miniplaque est actuellement recommandée.(49)(68)

L'ordre de mise en place des plaques doit être modifié si on utilise cette voie et être comme tel selon l'AOCMF : suture zygomatiko-frontale, arcade zygomatique, rebord infraorbitaire, cintre zygomatiko-maxillaire et plus ou moins réfection du plancher de l'orbite.

- Dans un quatrième temps (si on choisit de ne pas ostéosynthéser l'arcade zygomatique) ou dans un cinquième temps, on peut procéder à la reconstruction du plancher de l'orbite par les différentes voies d'abord de la margelle infra-orbitaire.

Peuvent être utilisés de préférence pour la réfection du plancher : une plaque en titane, une plaque en titane avec polyéthylène incorporé, une greffe osseuse ou encore un implant en polyéthylène poreux. Pour les reconstruction plus simples, on peut utiliser des plaques de PDS® résorbable ou du Biocorail®.



La première étape est la synthèse de la suture zygomatiko-frontale.

**Figure 31. Réfection du plancher de l'orbite et ordre d'ostéosynthèse du complexe zygomatique, d'après AOCMF, AO Surgery Reference**

Certains chirurgiens recommandent de synthéser la suture zygomatiko-sphénoïdale avec une miniplaque en utilisant les voies d'abord de la suture zygomatiko-frontale.(69)

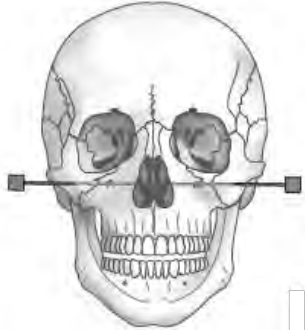
Par ailleurs, dès que le cas de figure se présente, on peut utiliser des **voies d'abord translésionnelles** à travers d'éventuelles plaies cutanées.

#### D. Procédés transfocaux

Il s'agit d'un embrochage par broche métallique de type Kirschner, transfaciale, introduite à distance du foyer de fracture : l'os zygomatique fracturé est embroché puis fixé à l'os zygomatique sain.(70) Cette technique a été décrite en premier par **Fryer** en 1950.



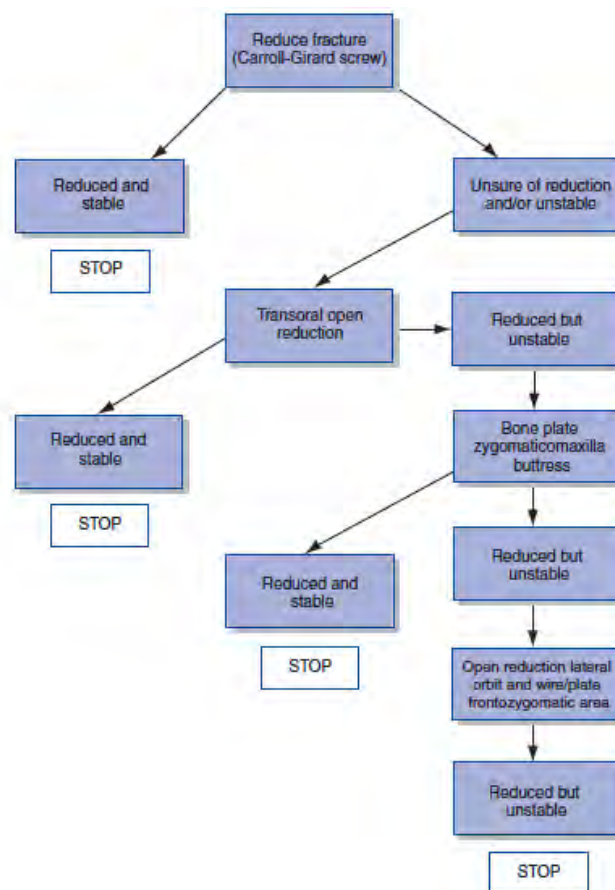
Certaines équipes en ont fait leur technique de prédilection. Il semblerait que ce soit davantage une affaire d'Ecole de chirurgie maxillo-faciale. Les études à l'heure actuelle montre une efficacité de ce procédé tant sur le plan esthétique que sur le rétablissement des volumes.(71)(72)



**Figure 32.** Embrochage transfacial zygomatoco-zygomatique d'après *EMC Stomatologie*(73)

#### E. Organigramme de prise en charge chirurgicale

Dans une première étude en 1996, Ellis III et Kittidumkerng proposent un algorithme de prise en charge des fractures du complexe zygomatique ne nécessitant pas de reconstruction interne de l'orbite.



**Figure 33.** Algorithme de la prise en charge des fractures de l'arcade zygomatique ne nécessitant pas de reconstruction interne de l'orbite, d'après Ellis et Kittidumkerng(45)

Plus tard, en 2014, Ellis et Perez proposent à partir de l'étude rétrospective de 883 patients de 1991 à 2013 un algorithme de prise en charge des fractures du complexe zygomatique selon qu'elles sont associées ou pas à un défaut orbitaire.

Le but de cet algorithme est de minimiser les voies d'abord inutiles et les voies d'abord palpébrales inférieures qui sont pourvoyeuses de cicatrices rétractiles et parfois de complications oculaires.(65)(66)(67) **La philosophie de prise en charge est différente de celle recommandée par l'AOCMF** qui préconise la synthèse de la margelle infra-orbitaire en deuxième ou troisième temps.

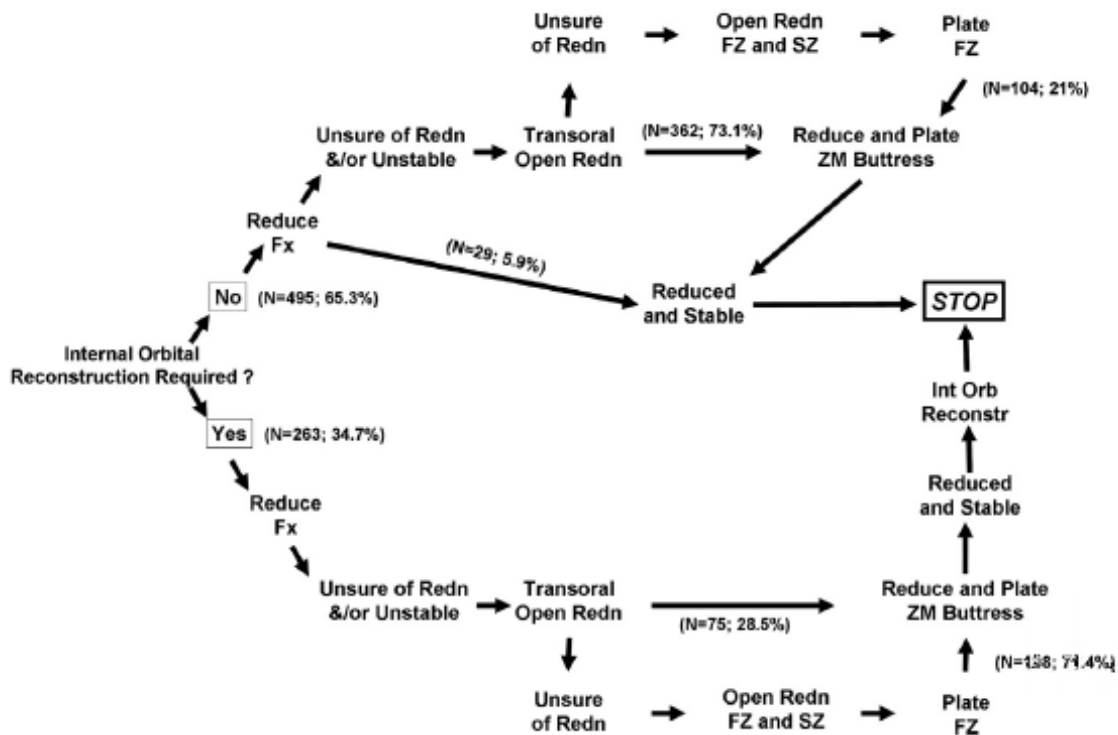
Cet organigramme ne peut pas être utilisé pour les fractures très comminutives du complexe zygomatique, en particulier si une voie d'abord coronale est jugée nécessaire pour une fixation dite à 4 points (cf. paragraphe III.6.A)

Voici les propositions d'Ellis et Perez de 2014 dans l'ordre chronologique :

- Lorsqu'une reconstruction des parois orbitaires n'est pas requise, il faut réduire l'os zygomatique par technique indirecte.

- Si le zygoma est instable, il faut réaliser une voie d'abord endobuccale en raison de la faible rançon cicatricielle et parce que la console zygomatoco-maxillaire est un point clef pour l'alignement de l'os zygomatique. On peut par la même occasion aller vérifier le rebord infra-orbitaire. D'un point de vue biomécanique, une plaque doit être mise en place sur le cintre.
- Si la réduction est insatisfaisante, avant de procéder à l'ostéosynthèse du cintre, il faut aborder la suture fronto-zygomatique. C'est seulement après que le matériel d'ostéosynthèse peut être mis en place sur le cintre et la suture fronto-zygomatique.
- Dans les cas où une reconstruction orbitaire est à associer (suture sphéno-zygomatique et/ou rebord infra-orbitaire), il faut suivre le même algorithme mais ajouter pour travailler confortablement une voie d'abord sous-palpébrale.

Dans cet article, ils proposent aussi un deuxième algorithme tenant compte du contrôle tomographique per-opératoire.



- Fx : fracture
- FZ : suture fronto-zygomatique
- SZ : suture sphéno-zygomatique
- ZM : cintre zygomatoco-maxillaire
- Int orb reconstr : reconstruction orbitaire interne
- Redn : réduction, Reduce Fx : méthode indirecte percutanée

**Figure 34. Algorithme de la prise en charge des fractures du complexe zygomatique lorsque le C-Arm per opératoire n'est pas à disposition, d'après Ellis et Perez(56)**

## F. Avis général

Pour la plupart des auteurs, il existe 3 objectifs principaux dans le traitement des fractures du complexe zygomatique : assurer la réduction anatomique des fragments, la stabilité de ceux-ci, et restaurer le volume de la cavité orbitaire.

D'une manière générale, la littérature insiste sur l'importance de l'ostéosynthèse primaire de la console zygomatoco-maxillaire.(74)(75)(76)(77)

### 7. L'essor de la chirurgie assistée par ordinateur : CAO

#### A. L'imagerie per opératoire

Deux méthodes per opératoires permettent d'évaluer la réduction anatomique de la fracture de l'os zygomatique.

- **La première est clinique** : elle consiste à palper la réduction ou à vérifier le rétablissement de la continuité articulaire sous contrôle de la vue. Cette évaluation reste subjective et doit être considérée comme **non fiable**. En effet, l'œdème rend imprécise la palpation, le contrôle de la vue quant à lui induit une augmentation du nombre de voie d'abord avec leur inévitable préjudice cosmétique.

- **La deuxième est radiologique** : la radiographie à l'ère du scanner doit être abandonnée car elle est imprécise et difficile à mettre en œuvre au bloc opératoire. L'utilisation des CT scans per opératoires a tendance à se démocratiser à travers l'utilisation des Cone Beam dits C-Arm. Le C-Arm a les avantages d'être petit, mobile et moins irradiant qu'un scanner classique.(78) L'AOCMF considère que le contrôle radiologique est, dès qu'il est possible, indispensable aux prises en charge des fractures du tiers moyen de la face.

Gülicher et al. ainsi que McCann et al. utilisent l'échographie per opératoire.(79)(80). Mais l'ultrasonographie n'est pas recommandée en raison de la meilleure qualité de l'imagerie par Cone Beam.

L'IRM n'est pas non plus recommandée, bien que peu irradiante, elle est loin d'égaliser la qualité d'imagerie osseuse du C-Arm.(81)(82)

**L'équipe de chirurgie maxillo-faciale du CHU de Toulouse du Pr Boutault ne dispose pas à l'heure actuelle de l'imagerie tomographique per opératoire, mais possède un Cone-Beam dont elle a fait la méthode de référence de contrôle post-opératoire de la réparation des fractures de l'os zygomatique.**

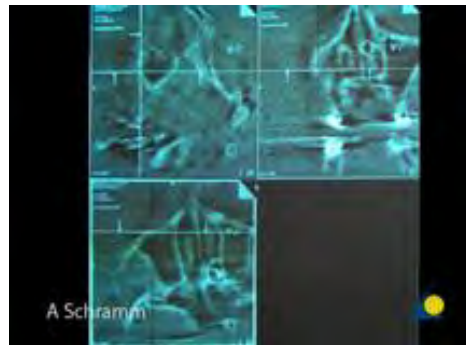
## Standards de l'AOCMF en imagerie per opératoire(83)

### Vérification simple per opératoire de la réduction anatomique

On réalise un CT Scan per opératoire pour le contrôle de la réduction fracturaire. Elle a aussi prouvé son intérêt dans le contrôle de la réduction des fractures du complexe zygomatique.(84)(85)(86)(78)(87)



Réalisation de l'imagerie per opératoire par CT Scan

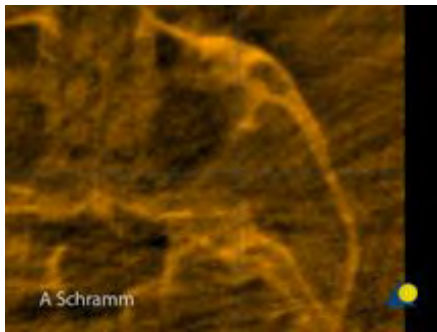


CT Scan per opératoire montrant une réduction anatomique

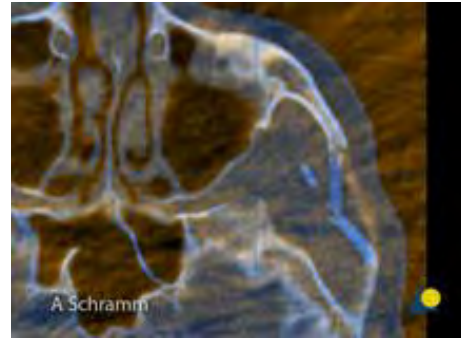
**Figure 35.** Procédure d'imagerie per opératoire, d'après Schramm pour AOCMF, *AO Surgery Principle*

### Utilisation de la fusion d'images du scanner pré et per opératoire

La chirurgie assistée par ordinateur peut aussi combiner l'imagerie per opératoire avec la tomodensitométrie pré opératoire. En fait, un logiciel de planification virtuelle permet la fusion des images pré et per opératoire pour une meilleure visualisation de la réduction. Dans cette technique, il n'est pas réalisé de planification virtuelle par mirroring.



CT Scan per opératoire montrant une réduction anatomique de l'arcade zygomatique

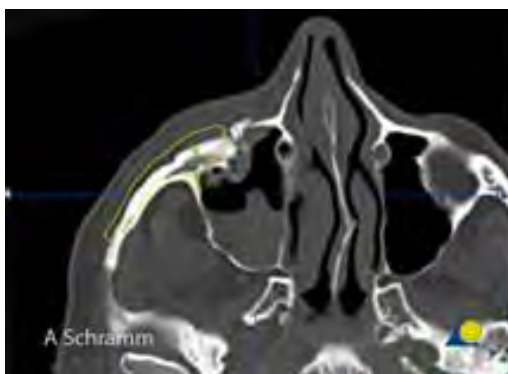


Fusion de l'imagerie pré et post op. En bleu, le scanner pré opératoire et en doré le scanner per opératoire

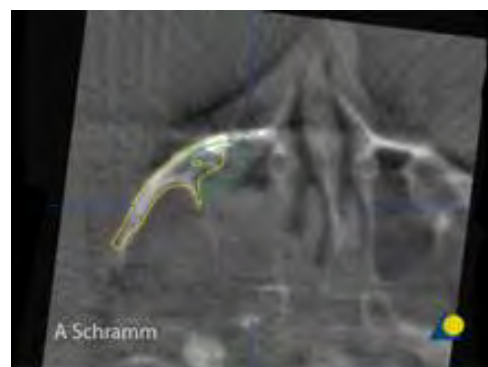
**Figure 36. Procédure d'imagerie per opératoire avec fusion des images pré et per opératoire, d'après Schramm pour AOCMF, AO Surgery Reference**

### Planification virtuelle

Une simulation virtuelle de la réduction de l'os zygomatique est réalisée par mise en miroir (mirroring) de l'os zygomatique sain à partir du scanner pré opératoire, par segmentation automatique. L'image en miroir devient alors l'objectif de la chirurgie. Des contrôles tomographique per opératoires sont faits jusqu'à atteindre l'objectif.



Mirroring pré opératoire. En jaune : image en miroir, objectif de la chirurgie

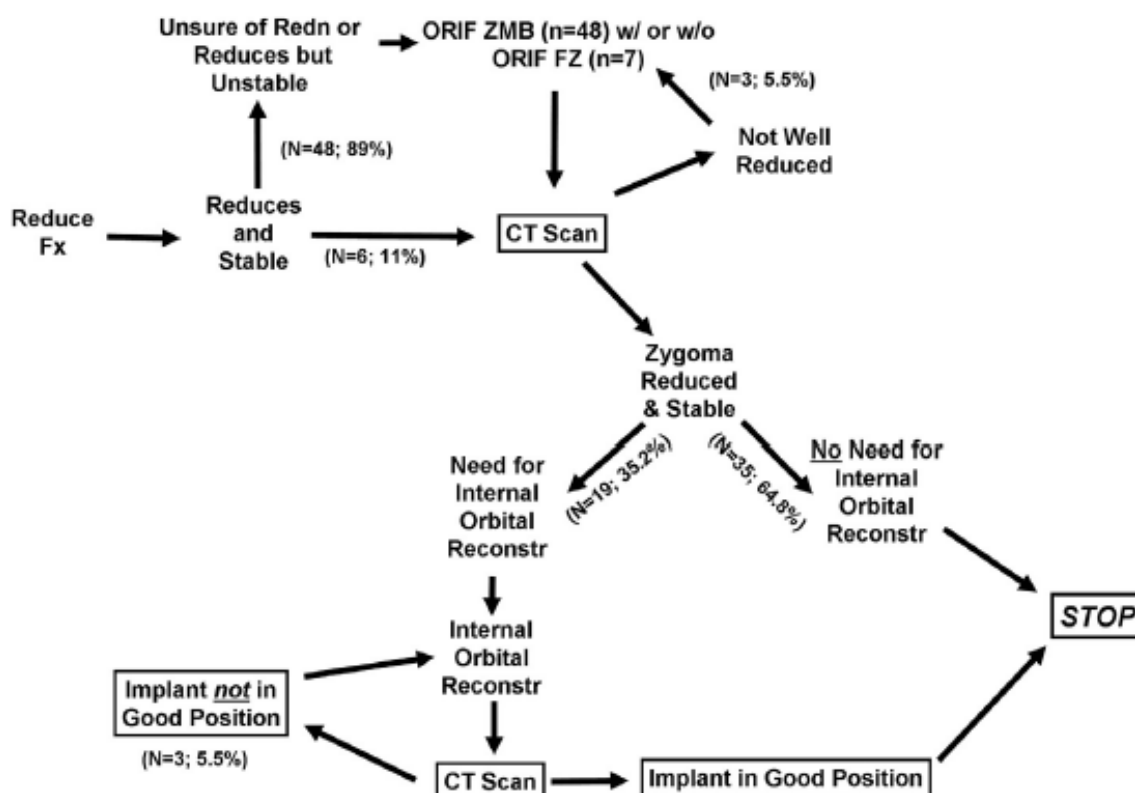


Fusion de l'imagerie pré et post opératoire avec l'objectif en jaune. L'os zygomatique est parfaitement dans la position prévue.

**Figure 37. Procédure de planification virtuelle avec imagerie per opératoire, d'après Schramm pour AOCMF, AO Surgery Reference**

## Organigramme de prise en charge chirurgicale de Ellis et Perez tenant compte du contrôle per opératoire par C-Arm

En 2014, Ellis et Perez(56) (cf. paragraphe III.6.B) proposent un deuxième organigramme de prise en charge des fractures de l'os zygomatique en introduisant la notion de contrôle per opératoire par C-arm. Cet algorithme reprend aussi les idées de leur algorithme précédent pour le traitement chirurgical des fractures du zygoma lorsque l'imagerie per-opératoire est indisponible.



- CT : computed tomography
- Fx : fracture
- FZ : suture fronto-zygomatique
- ORIF : réduction à ciel ouvert et fixation interne
- Reconstr : reconstruction
- Redn : réduction
- ZMB : cintre zygomatoco-maxillaire

**Figure 38.** Algorithme de la prise en charge des fractures du complexe zygomatique lorsque le C-Arm per opératoire est à disposition, d'après Ellis et Perez

## B. La navigation per opératoire selon l'AOCMF(88)

Dans le cas de fracture complexe, la navigation peropératoire est extrêmement utile pour aider à réduire l'os zygomatique et reconstruire les parois orbitaires.(89) La reconstruction se fait souvent en plusieurs étapes. Plutôt que de répéter les CT scan per opératoires qui deviendraient alors plus irradiants, la navigation per opératoire fournit des indications sur l'avancée de la reconstruction prévue.

La navigation per opératoire repose en quelque sorte sur les principes de l'imagerie per opératoire. Elle augmente elle aussi la précision des gestes, le succès de la réparation et diminue les séquelles esthétiques et fonctionnelles.(90)(91)(92)(93)

La préparation de la navigation se réalise à partir d'un scanner per opératoire. Suivent alors plusieurs étapes :

- Recalage du scanner dans les trois plans.
- Réduction et reconstruction virtuelle : un mirroring de l'os zygomatique sain est créé.
- L'ensemble des données virtuelles sert donc de modèle de réduction contrôlé à plusieurs reprises pendant la navigation per opératoire.
- Un CT Scan per opératoire peut être fait si les équipes en disposent, à défaut une imagerie post opératoire sera faite pour un contrôle ultime.

**L'équipe de chirurgie maxillo-faciale du CHU de Toulouse du Pr Boutault dispose d'un logiciel de navigation (i plannet CMF) et d'une console de navigation. Elle est fréquemment utilisée pour les reconstructions orbitaires et les fractures zygomatiques très comminutives.**



~

A travers notre chapitre de généralités, nous avons rappelé les notions d'anatomie fondamentale générale, clinique et radiologique de l'os zygomatique sain et pathologique, mais aussi présenté les prises en charges en matière de traumatologie.

L'os zygomatique fait partie d'un tout : le massif facial. Il en caractérise la pommette et une partie de l'orbite. Il est nécessaire de comprendre la morphologie de cette os et de ce fait celle de la pommette pour envisager un protocole d'ostéométrie applicable en traumatologie.

Nous détaillerons notre méthode de mesure et les objectifs du traitement des fractures.

~

## CHAPITRE II. JUSTIFICATION SCIENTIFIQUE ET DESCRIPTION GENERALE

Dans ce deuxième chapitre, nous ferons le point sur l'état actuel des connaissances et des recherches sur la morphologie clinique et radiologique de l'os zygomatique et de la pommette.

Quid de l'intérêt de l'ostéométrie zygomatique dans les contrôles tomographiques per et post-opératoires ?

Comment pourrait-on s'y prendre pour instaurer de telles vérifications de la qualité des résultats chirurgicaux?

## I. Problématisation de la recherche

### 1. Comment apprécie-t-on le relief et la morphologie de la pommette ?

Nous manquons de données consensuelles craniométriques, céphalométriques et anthropométriques.

Il est pourtant indéniable que le pare-choc zygomatique soit un élément fondamental de la morphologie de la pommette, puisqu'il en est la charpente osseuse. Nous avons vu par ailleurs le rôle cosmétique de la pommette dans nos sociétés occidentales : pourquoi existe-il alors une lacune en matière de mesure de la pommette alors que tant de femmes souhaitent avoir recours aux techniques de comblement pour galber la partie haute de leur joues ? Pour les parties molles jugales, est-ce affaire de libre appréciation, de subjectivité de la part du praticien et de la patiente, de civilisation ou de sens artistique...? Il existe à l'heure actuelle une vraie difficulté à caractériser la pommette et son maximum de projection.

En revanche, pour le chirurgien, il en est autre : quand celui-ci est à l'œuvre, il essaie de restituer l'os zygomatique le plus proche de son état physiologique et symétrique au zygoma controlatéral sain. L'idéal du chirurgien est de réparer fidèlement sinon à la perfection l'os pathologique, faisant de son art une Science médico-chirurgicale. Pour atteindre ce résultat tant espéré, encore faut-il qu'il sache quelles sont les mesures quantitatives notamment radiologiques de ce support osseux faisant le relief, la morphologie et la symétrie des pommettes à l'état physiologique. L'enjeu de la détermination de mesures radiologiques osseuses fiables et reproductibles est leur utilisation dans les contrôles radiologiques per et post-opératoires. Ce travail pose une question d'ordre philosophique : comment aider la chirurgie à tendre vers une Science exacte mathématique et géométrique ?

**Nous définirons le maximum de projection de l'os zygomatique ayant pour corollaire la morphologie de la pommette sus-jacente à travers des mesures radiologiques fiables et reproductibles.**

### 2. Quand et comment le chirurgien contrôle la qualité de la réduction de la fracture de l'os zygomatique ?

Nous avons vu dans le premier chapitre, l'évolution à travers les siècles de la chirurgie traumatologique de l'os zygomatique. Nous assistons depuis une quinzaine d'année à l'émergence de la chirurgie assistée par ordinateur et à la floraison de la tomographie à travers le Cone Beam (ou C-Arm) dans nos blocs opératoires.

L'évaluation clinique per-opératoire est imprécise et doit être abandonnée.

Le contrôle radiologique post-opératoire est un pari sur l'intervention pour le chirurgien car en cas de mauvaise réduction visible sur la radiographie ou Cone Beam ou TDM de contrôle, le patient devra subir une nouvelle anesthésie et une autre

intervention. Cela reste néanmoins, de nos jours, une pratique courante des chirurgiens maxillo-faciaux car tous ne sont pas équipés de C-Arm per-opératoire.

Le contrôle per-opératoire par tomographie devient à présent un gage de qualité dans le déroulement de l'intervention. La bibliographie précise que son utilisation améliore les résultats et n'augmente que peu la durée de l'intervention, il en est de même pour la navigation per-opératoire(86)(87)(94). Pour les équipes qui peuvent avoir de tels appareils tomographiques, leur utilisation devient alors un Gold Standard.

**Nous détaillerons la littérature scientifique pour faire une proposition de contrôles radiologiques optimaux en fonction des moyens dont disposent les équipes.**

3. Que contrôle le chirurgien pour évaluer la qualité de la réduction radiologique de la fracture de l'os zygomatique ?

Il est légitime de demander ce que doit vérifier le chirurgien sur les coupes tomographiques de contrôle. L'objectif principal de toute chirurgie est de rétablir la symétrie des pommettes notamment celle de leur sommet ; nous ne disposons toujours pas de mesures ostéométriques fiables et reproductibles sur des coupes tomographiques sélectionnées.

**Nous nous inspirerons de travaux précurseurs pour établir un référentiel de mesure ostéométrique radiologique de l'éminence zygomatique et de la symétrie de celle -ci.**

## **II. Etat actuel des connaissances scientifiques**

1. A propos du relief et de la morphologie de la pommette

### A. Le culte de la pommette

Une pommette haute, saillante et à la fois toute en volume apparaît séduisante et comme la nouvelle obsession de certaines femmes. Un visage jeune et synonyme de bonne santé a des pommettes dont la charpente osseuse est en position haute et bien projetée, avec un malar fat pad reposant au pôle supérieur : cela forme le fameux visage triangulaire à base haute tant idéalisé, dont le maximum de convexité est centré sur la partie haute des joues.

A l'inverse, une pommette large avec parfois une ptose des tissus mous sus-jacents entraîne une insuffisance de projection antérieure et de ce fait n'est pas surlignée et galbée, donnant un aspect fatigué et vieilli.

Par exemple, le sujet asiatique hérite d'une pommette plus large et plus courte en hauteur avec en conséquence une projection antérieure moins importante que chez le Caucasien mais avec un sommet plus latéralisé et très proéminent. La ptose du malar fat pad est alors plus visible en vieillissant, et l'os zygomatique devient très saillant avec un

sommet quasi sous-cutané et très externe. (95) La pommette saillante est signe de disgrâce en Asie.(96)(97)(98)

Ceci explique le recours à la plastie zygomatique qu'ont certains asiatiques qui considèrent leur pommette trop externe, saillante et en résumé inesthétique.



A

B

C

**Photo A :** Pommette chez une femme jeune caucasienne avec projection antérieure notable et un maximum de volume concentré vers le haut.

**Photo B :** Personne âgée d'origine asiatique avec un sommet de l'os zygomatique très proéminent et externe mais avec une insuffisance de projection antérieure accentuée par la ptose des tissus mous.

**Photo C :** Jeu de maquillage et de lumière sur l'hémiface droite d'un jeune homme asiatique ; la pommette droite apparaît plus haute et mieux galbée, avec un sommet moins externe.

**Figure 39. Le relief de la pommette d'après Baek et Lee(95)**

B. Comment apprécie-t-on le relief de l'os zygomatique? Etude de la position du sommet de l'os zygomatique.

Les principales études à ce sujet sont menées par des médecins et chirurgiens asiatiques, effectivement la plastie malaire de réduction ou « reduction malarplasty » est une des opérations esthétiques les plus courantes en Asie. Pour obtenir des résultats satisfaisants, il leur est nécessaire de définir la partie la plus saillante de l'os zygomatique dite sommet ou éminence. Pour les Caucasiens, c'est plutôt dans un contexte de plastie zygomatique de valgisation (assez rare) que l'étude du sommet du malaire présente un intérêt.

Le repérage clinique de l'éminence est possible à travers la peau mais parfois peut-être un challenge. En outre, l'os zygomatique squelettisé en per-opératoire ou sur

une coupe axiale tomographique, l'exercice peut s'avérer encore plus dur, les rapports avec le revêtement cutané étant perdus.

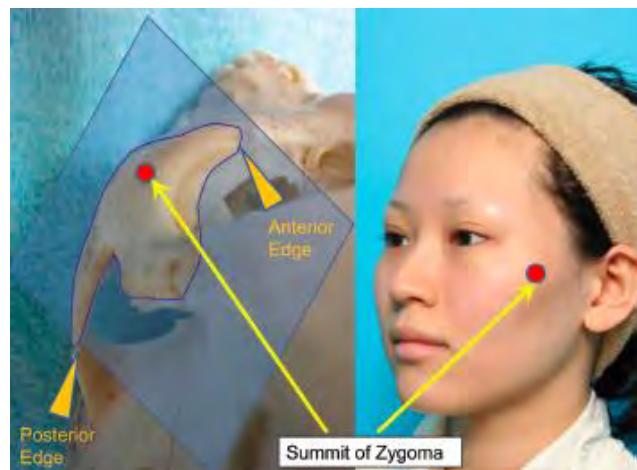
### L'étude de Nagasao et al. en 2011

Nagasao et al.(99) ont défini la position du sommet de l'os zygomatique et ont même proposé de lui attribuer des coordonnées. Dans un second temps, ils ont discuté l'application chirurgicale de leurs données à la plastie zygomatique de réduction.

121 Cone Beam du massif facial de 73 hommes et 48 femmes d'origine japonaise, suspects de fractures des os de la face ont été étudiés. Les individus présentant des fractures unilatérales minimales ou avec une imagerie normale ont été inclus. L'âge moyen des hommes était de 32,1 +/- 11 ans et pour les femmes 35,4 +/- 11 ans.

### Description du sommet de l'os zygomatique

Il est défini par rapport à un plan vertical qui unit le point le plus antérieur au point le plus postérieur du zygoma. Le point le plus antérieur se situe sur le rebord infraorbitaire au niveau de l'articulation avec l'os maxillaire ; le point le plus postérieur se situe quant à lui sur l'arcade zygomatique au niveau de l'articulation avec l'os temporal. **Le sommet est le point situé sur la surface externe de l'os, le plus éloigné de ce plan.** (Figure 52)



**Figure 40.** Définition du sommet de l'os zygomatique selon Nagasao et al.(99)

L'éminence de l'os zygomatique est ensuite analysée en fonction d'une surface rectangulaire dont les bords correspondent à l'intersection des droites horizontales passant par le rebord orbitaire inférieur et le cintre zygomatico-maxillaire (points situés sur les articulations) avec les droites verticales passant par le rebord orbitaire externe (point situé sur l'articulation) et par le processus temporal de l'os zygomatique (point

situé sur le processus). Les coordonnées verticales et horizontales de l'éminence et des quatre points de référence sont recueillies selon un système en 3 dimensions. (Figure 41)

L'os zygomatique est isolé sur une reconstruction en 3 dimensions, toutes les données sont standardisées dans le plan de Francfort.

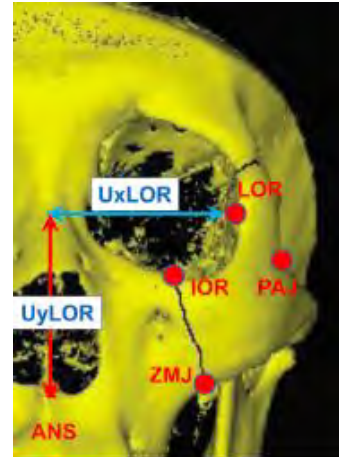
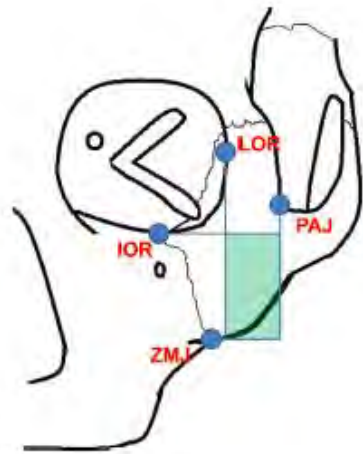


Schéma des quatre points et de la surface triangulaire de référence

Système de coordonnées : les coordonnées verticales (y) et horizontales (x) sont ainsi acquises

LOR : Rebord orbitaire externe  
 IOR : Rebord infraorbitaire  
 ZMJ : console zygomatico-maxillaire  
 PAJ : processus temporal

**Figure 41.** Détermination des coordonnées du sommet de l'os zygomatique d'après Nagasao et al.(99)

## Résultats

Pour tous les patients, le sommet de l'os zygomatique se trouve dans l'aire du rectangle de référence. Par ailleurs, il n'existe aucune différence significative sur les coordonnées horizontales entre homme et femme. En revanche, il existe une différence entre homme et femme quant à la position inféro-supérieure de l'éminence ; Le sommet du zygoma masculin est plus haut.

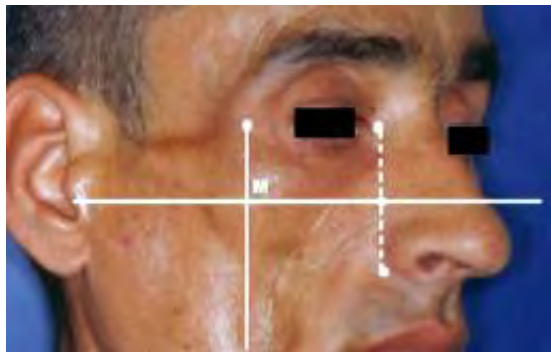
**Grâce à cette étude, nous avons une première idée de la position radiologique de l'éminence zygomatique.**

## L'étude de Gola et al. en 2006

Gola et al. expliquent leur technique de plastie malaire de valgisiation en utilisant un point M déterminé **cliniquement** et qui équivaldrait à l'éminence zygomatique.

L'intérêt pour ce point M est né des observations faites lors de la pose d'implants malaires. En effet la difficulté à poser les implants de façon naturelle et symétrique a amené un certain nombre d'auteurs à préciser le siège de la pommette. La littérature illustre une difficulté réelle à bien situer la pommette.(100)(101)(102) C'est ce point M qui essaie d'apporter une réponse à cette question évidente et spontanée mais difficile.

Le point M est approximativement le maximum de projection de l'os zygomatique et se situe aux environs du centre du corps de cet os. Il est à l'aplomb du rebord orbitaire latéral.



Le point M est situé au croisement de 2 lignes : une horizontale passant à mi-chemin entre le canthus médial et la partie inférieure de l'aile du nez, l'autre verticale passant par le milieu de la suture zygomato-frontale. (Ce point est situé au dessus des traits d'ostéotomie)

**Figure 42.** Construction du point malaire M d'après Gola et al.(103)

### C. Application chirurgicale : les plasties zygomatiques

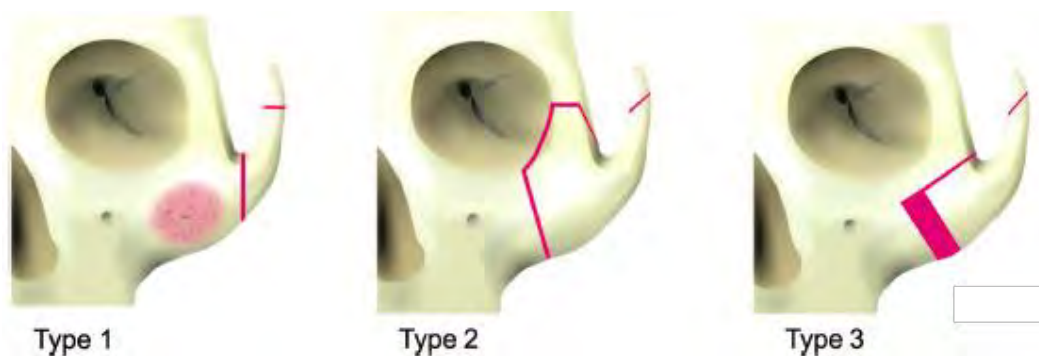
Grâce à ce type d'intervention, on peut comprendre le retentissement qu'a la chirurgie sur la morphologie et la projection malaires. Cela nous conforte dans l'idée que le sommet de l'os zygomatique a un rôle primordial dans la forme de la pommette et confirme le besoin de savoir situer géométriquement cette éminence.



## Les plasties zygomatiques de réduction

Nagasao et al.(99) discutent dans leur article les différentes techniques de plasties malaires en fonction de leurs résultats sur la position de l'éminence zygomatique. Ils en établissent une classification selon les traits d'ostéotomie :

- Type 1 : les traits d'ostéotomies se situent entre le corps de l'os zygomatique et son arcade.(104)(105)(106)
- Type 2 : les traits d'ostéotomies se situent au niveau de la suture fronto-zygomatique, de la console zygomatoco-maxillaire et de l'arcade. L'os zygomatique est isolé selon un tripode (car pas d'ostéotomie au niveau de la grande aile du sphénoïde comme dans les fractures quadripodes). (107)(108)
- Type 3 : les traits d'ostéotomies sont les mêmes que dans le type 2 mais épargnent la suture fronto-zygomatique.(109)(110)(111)



Type 1 : ostéotomie à la jonction entre le corps et l'arcade zygomatique

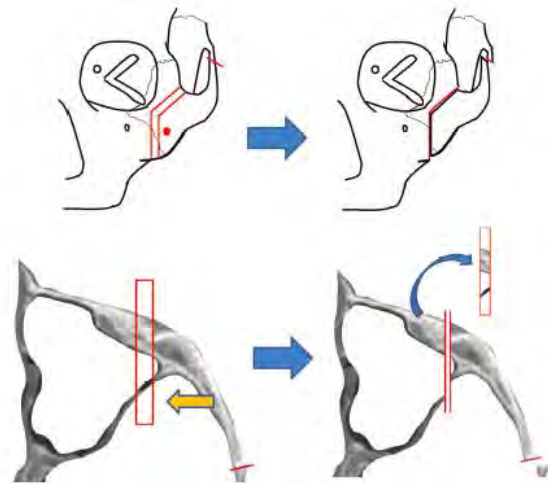
Type 2 : ostéotomie « tripode »

Type 3 : ostéotomie du corps et de l'arcade zygomatique

**Figure 43.** Classification des plasties zygomatiques de réduction d'après Nagasao et al.(99)

En appliquant leurs conclusions ostéométriques, ils considèrent que les plasties zygomatiques de réduction de type 1 ne sont pas justifiées car elles ne mobilisent pas le sommet théorique de l'os zygomatique. Si on souhaite obtenir des résultats acceptables avec cette méthode, il faut ajouter un fraisage vigoureux de l'éminence zygomatique, moyennant une fragilité induite de l'os remodelé.

Les plasties malaires de type 2 (sur voie coronale) et 3 sont à privilégier car le sommet est mobilisé puis repositionné. Les auteurs préconisent plutôt d'utiliser la plastie de type 3 (voie endobuccale), et de réaliser l'ostéotomie supérieure plus haut chez l'homme. Une baguette osseuse à proximité de l'éminence doit être déposée.



On comprend dans un plan horizontal comment la morphologie du zygoma est modifiée par mobilisation du sommet.

**Figure 44.** Principe de la plastie zygomatique de réduction de type 3 d'après *Nagasao et al.*(99)



A gauche : Photos pré-opératoires  
A droite : Photos post-opératoires

**Figure 45.** Résultats d'une plastie zygomatique de réduction de type 3 d'après *Nagasao et al.*(99)

## Les plasties zygomatiques de valgisation

Contrairement aux sujets d'origine asiatique, il existe des faces étroites chez les Caucasiens. Celles-ci peuvent être expliquées par un défaut d'expansion maxillo-zygomatique consécutif à une obstruction nasale chronique. La valgisation fonctionnelle des os zygomatiques avec greffe osseuse d'interposition permet de corriger cette dysmorphose.(103)

Une projection antérieure du zygoma peut être obtenue (112)(113) ou une projection plutôt latérale, en modifiant la position de l'éminence.(114)(115) Le trait d'ostéotomie est généralement pratiqué au dessus du point M décrit dans le paragraphe II.1.B.

A travers cette technique de valgisation, on peut voir comment est repositionné le sommet zygomatique en projection conséquente, à l'inverse des plasties malaires de réduction.



A-C : Photos pré-opératoires  
B-D : Photos post-opératoires

**Figure 46.** Résultats d'une plastie zygomatique de valgisation d'après *Gola et al.*(103)

Les plasties zygomatiques mettent en exergue le rôle primordial du sommet de l'os zygomatique dans la morphologie de la pommette. On peut donc extrapoler les données géométriques disponibles sur cette éminence à la réparation des fractures de l'os zygomatique.

**L'éminence zygomatique joue un rôle prépondérant dans la morphologie de la pommette. Le rétablissement de la position du sommet zygomatique doit être un des objectifs principaux de la chirurgie de l'os zygomatique traumatisé.**

2. Quand et comment le chirurgien contrôle la qualité de la réduction de la fracture de l'os zygomatique ? Etude des moyens radiologiques.

Le diagnostic radiologique initial d'une fracture du complexe zygomatique doit être fait sur MSCT (multisllice CT-Scan ou Scanner classique) ou sur CBCT (Cone-Beam CT-Scan)(36), et non plus sur clichés radiographiques standards. Nous ne parlerons pas ici de la navigation per-opératoire par C-Arm qui doit être pratiquée dès que la fracture est déplacée et quand le volume orbitaire est affecté.

A. L'idéal du contrôle tomographique per-opératoire

Le C-Arm a été utilisé pour la première fois (NewTom 9000) pour l'imagerie pré-opératoire dentaire et implantaire. Depuis, il s'est largement répandu.(116)(117) Les systèmes n'ont cessé de s'améliorer.(118)(119) Il est maintenant acquis que le CBCT est moins irradiant que le MSCT(120)(121)(122) avec une qualité d'image osseuse comparable au MSCT.(123)

Par ailleurs, nous avons vu à plusieurs reprises que l'imagerie per opératoire est un gage de qualité en chirurgie maxillo-faciale, en particulier dans le traitement des fractures du complexe zygomatique(85)(87)(94). Néanmoins la pratique dépend de la possibilité d'accéder aux équipements. Au total, bien que validée par la corporation chirurgicale, son utilisation n'est pas forcément courante à ce jour.(124)(125)(126)

**Quoiqu'il en soit, une imagerie per ou post opératoire est indispensable après toute réparation de fracture de l'os zygomatique.(36)(127)(128)(129)**

Le C-Arm per-opératoire est un excellent outil pour la vérification de la qualité de la réduction fracturaire quelle que soit la technique chirurgicale employée. De plus avec le contrôle per-opératoire, nul besoin de faire un contrôle radiologique post-opératoire parfois dépendant de l'emploi du temps de nos confrères radiologues.(130)

**Si l'équipe chirurgicale est dotée d'un C-Arm en salle d'intervention, toute fracture de l'os zygomatique doit être contrôlée en per-opératoire et pourra être dispensée de contrôle tomographique en post-opératoire immédiat.**

**Malheureusement l'équipe de chirurgie maxillo-faciale du CHU de Toulouse du Pr Boutault ne bénéficie pas d'un tel dispositif.**

## B. A défaut, le contrôle sera post-opératoire

Manson préconise systématiquement dans le bilan d'imagerie post-opératoire immédiat des fractures du complexe zygomatique, un examen tomographique.(36)(127)

Toujours selon lui, le suivi ultérieur post-opératoire pourra comporter des clichés radiographiques standard +/- combinés à la tomographie.(129)

Beaucoup d'auteurs comme Wilde et Heiland, préfèrent maintenant le CBCT pour imagerie de référence pré et post opératoire car il est faiblement irradiant.(123)(131)

Pour des raisons logiques de facilité d'accès, le contrôle radiologique standard (clichés en incidence de Blondeau et/ou Waters et/ou Hirtz) des fractures de l'arcade zygomatique et du complexe zygomatique peu déplacé est largement répandu.

Néanmoins, il doit être utilisé avec parcimonie et méfiance dans le cas de fracture déplacée du complexe zygomatique : devra lui être préféré un contrôle tomographique comme le dit Manson afin de visualiser la totalité du volume orbitaire.

**Idéalement, lorsque l'imagerie per-opératoire n'est pas disponible, un contrôle tomographique post-opératoire par Cone Beam doit être réalisé.**

Si l'équipe ne dispose pas de Cone-Beam, une TDM classique du massif facial doit être proposée en cas de fracture zygomatique très déplacée.

**L'équipe de chirurgie maxillo-faciale du CHU de Toulouse du Pr Boutault utilise parfois le CBCT à visée diagnostique et en a fait sa référence en matière de contrôle post-opératoire immédiat.**

### 3. Que contrôle le chirurgien pour évaluer la qualité de la réduction de la fracture de l'os zygomatique ? Etude de la symétrie du zygoma.

La notion de symétrie de l'os zygomatique est communément acceptée par les différents auteurs et confirmée par les travaux de l'anthropologue Farkas qui admet au maximum une différence de projection de 2,5 mm entre les 2 pommettes.(132) **C'est cette même symétrie par rapport au côté sain que le chirurgien cherche à obtenir lorsqu'il répare un zygoma pathologique.**

Nous présenterons ci-après les différents travaux radiologiques disponibles dans la littérature scientifique au sujet de la projection, de la morphologie et surtout de la symétrie de l'os zygomatique, qui pourraient être applicables à la traumatologie et au contrôle per et post opératoire.

**Nous nous sommes inspirés de ces travaux pour bâtir notre propre référentiel de mesure**

### **L'étude de Furst et al. en 2001(133)**

Le but de leur étude est d'objectiver par rapport à un axe médian des points d'intérêt sur TDM mesurant la position du sommet du zygoma et la symétrie faciale. Ces mesures tomographiques étaient ensuite comparées aux mêmes mesures faites directement sur le crâne avec un dispositif de morphométrie.

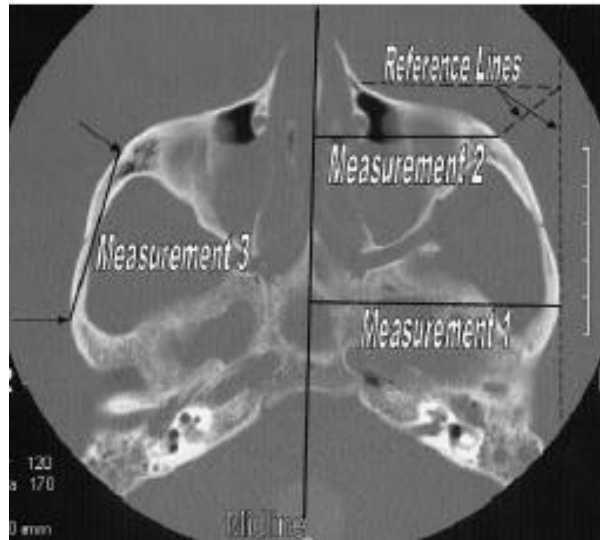
#### **Mesure de la projection réelle et tomодensitométrie de l'os zygomatique**

L'acquisition des données tomодensitométriques était menée à partir de 4 crânes secs placés en position de Francfort au sein d'une boîte. Le même appareil était utilisé pour tous les crânes.

Pour chaque TDM, était sélectionnée une coupe axiale où la totalité du complexe zygomatique était visible et au niveau où l'arcade zygomatique est la plus fine.

Quatre données dans le plan axial étaient recueillies par 5 observateurs différents qui répétaient 3 fois les mesures:

- Axe de symétrie : droite passant par la lame perpendiculaire de l'ethmoïde et par le milieu du clivus et du foramen magnum.
- Largeur antérieure (dite mesure 2) : distance du sommet de l'os zygomatique au point de projection sur l'axe de symétrie, elle correspond à la distance au sommet zygomatique soit au maximum de projection antérieur ;
- Largeur postérieure (dite mesure 1) : distance du point le plus proéminent de l'arcade zygomatique (sur la partie temporale de l'arcade) au point de projection sur l'axe de symétrie, elle correspond au maximum de projection postérieur.
- Projection zygomatique (dite mesure 3) : droite entre l'éminence zygomatique et le point le plus latéral.



- Mesure 1 : Largeur postérieure du complexe zygomatique
- Mesure 2 : Largeur antérieur
- Mesure 3 : Projection (latérale) de l'os zygomatique

**Figure 47.** Coupe axiale tomodensitométrique indiquant l'axe de symétrie et les 3 mesures d'après Furst et al.(133)

Chaque mesure tomodensitométrique a été comparée à son homologue du même côté sur crâne sec. Puis la symétrie sur crâne sec et sur TDM a été évaluée : une différence de 2,5mm entre chaque mesure controlatérale sur le crâne et sur le scanner était tolérée.(132)

### Résultats

Il existe des différences significatives entre les mesures unilatérales morphométriques (sur le crâne) et tomodensitométrique sauf pour la mesure 1. Il y a également une grande variabilité interobservateur. Cette différence est expliquée par le fait que les observateurs ont du mal à situer les points d'intérêt sur le crâne et sur la coupe axiale.

En revanche lorsqu'on analyse la symétrie sur le crâne et sur le scanner, il n'y a pas de différence significative : le complexe zygomatique est symétrique sur crâne sec et sur la TDM.

La mesure 3 s'est avérée non fiable.

**On retiendra de cette étude qu'il faut être prudent lorsque l'on place des maxima de projections sur un scanner car il existe possiblement des variations interobservateur. La symétrie du complexe zygomatique peut être évaluée sur TDM à partir du maximum de projection antérieur (voire antéro-latéral) et postérieur du zygoma.**

## **L'étude de Gong et al. en 2014(134)**

Le complexe zygomatique entre dans la constitution de la forme faciale globale.(135) L'objectif principal de Gong et al. est de mesurer la symétrie des éminences zygomatiques sur un même massif facial pour l'appliquer en clinique, en radiologie et en chirurgie.

Il est utile avant d'aborder le thème de la symétrie du complexe zygomatique, et de faire remarquer qu'il existe tout de même une asymétrie des parties molles jugales chez beaucoup d'individus sans pour autant qu'il y ait d'asymétrie osseuse sous jacente. (Dans une étude sur CT scan des parties molles, Moubayeb et al. ont trouvé une asymétrie des tissus mous jugaux chez plus de 40% des sujets de leur cohorte.(136))

Les auteurs sont partis des problèmes initiaux suivants : les contours de l'os zygomatique sont irréguliers et difficiles à cerner, et la détermination d'un axe de symétrie du massif facial dans certains plans peut être fastidieuse et erronée.

En outre, à l'heure actuelle, il n'existe pas de méthode standardisée et validée pour **mesurer** la symétrie du complexe notamment de son sommet.

Plusieurs méthodes sont pourtant décrites mais ne sont pas consensuelles et ont leur lot d'inconvénients, parmi elles :

- l'analyse in vivo directe : elle demande beaucoup de temps, et peut parfois être invasive (en cas de technique morphométrique) et subjective.(137)
- Les techniques tomographiques basées sur des landmarks anatomiques. Ironie du sort : les landmarks étudiés jusqu'en 2014 ne tenaient pas compte de l'éminence zygomatique.(133)
- La mise en évidence du volume et de la taille du complexe zygomatique par analyse chromatographique : elle pouvait s'avérer imprécise.(138)
- La réalisation d'un mirroring d'une hémiface sur l'autre (lors de la planification virtuelle des interventions) : il s'agit d'une manœuvre totalement automatique sur ordinateur et la notion de sommet de l'os zygomatique n'est pas considérée et le système axial occulté.(139)

### **Méthode de mesure en 3D de la symétrie du sommet de l'os zygomatique**

Selon eux, il faut évaluer la symétrie de l'éminence zygomatique, après repérage des points d'intérêt sur un scanner en 3D. La tête du patient doit être à l'acquisition dans le plan de Francfort.

Ils ont mené leur travail sur 50 volontaires sains chinois, approuvé par le Comité d'Éthique de l'Université de Pékin : 25 hommes et 25 femmes. Des CT-scans classiques sont faits pour chaque sujet sur un même appareil. Les données ont été ensuite analysées avec le logiciel iplannet (Brainlab®).

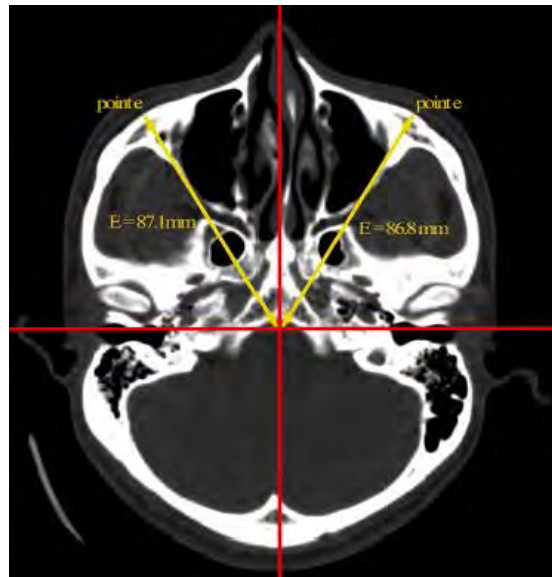
La mesure du sommet de l'os zygomatique est menée en 3 étapes :

- 1<sup>ère</sup> étape : mise en place de l'axe de symétrie du massif facial sur le crâne reconstruit en 3 dimensions.



- 2<sup>ème</sup> étape : élaboration d'un système de coordonnées en 3 dimensions sur ce crâne reconstruit.
- 3<sup>ème</sup> étape : mesure de la distance à l'origine des axes du sommet zygomatique sur une coupe en 2D mais à partir des données acquises en 3D. La mise en évidence préalable du point le plus proéminent du zygoma est plus précise en 3D.

Toutes les mesures ont été répétées 2 fois par deux examinateurs différents.



Point E : Eminence zygomatique (repéré initialement sur scanner en 3D puis ajusté sur les coupes sagittales et coronales)

Distance E : distance de l'éminence zygomatique à l'origine des axes

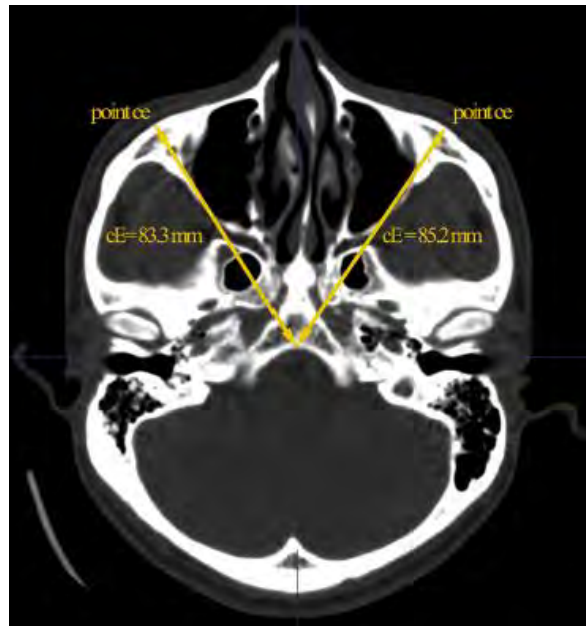
Axe rouge vertical : axe de symétrie de la face (acquis aussi sur le scanner en 3D)

Axe rouge horizontal : axe des abscisses

La distance au sommet est calculée à partir de l'origine du système de coordonnées en 3D.

**Figure 48.** Mesure du sommet de l'os zygomatique selon l'axe de symétrie du crâne d'après Gong et al.(134)

De la même manière, la mesure du sommet de l'os zygomatique est réalisée sans le système des axes 3D et en utilisant le milieu du clivus pour origine. Ce lot de mesure fait office de groupe contrôle.



CE : distance de l'éminence de l'os zygomatique au clivus

**Figure 49.** Mesure du sommet de l'os zygomatique à partir du clivus (groupe contrôle)  
d'après Gong et al.(134)

### Résultats

L'acquisition en 3D du sommet zygomatique ainsi que du système de coordonnées est plus précis que de considérer une coupe en 2D unique, dans le plan de Francfort avec le clivus, origine des distances recherchées. Selon eux, la meilleure méthode pour évaluer la symétrie du massif facial est cette technique en 3D.

**Toutefois la symétrie du massif facial et de la base du crâne est quand même mise en évidence sur une technique en 2D et même avec un axe ayant pour référence le milieu du clivus.**

On retiendra de cette étude que la distance au sommet du zygoma peut être objectivée sur un scanner et entre en compte dans l'évaluation de la symétrie du complexe zygomatique. Il faudrait de préférence situer l'éminence zygomatique sur une reconstruction volumique.

### III. Etude anatomique personnelle du sommet de l'os zygomatique

Les objectifs de ce travail préalable purement observationnel et qualitatif, hormis le fait d'illustrer notre problématisation numéro 1 qui faisait état du relief de la pommette, sont :

- Comprendre la relation entre parties molles de la pommette et sommet de l'os zygomatique par des observations simples.

- Situer cliniquement le sommet de l'os zygomatique pour justifier nos mesures radiologiques à venir.

## 1. Matériel et Méthode

Quatre pommettes fraîches ont été disséquées au laboratoire d'anatomie de Purpan de Toulouse sur 1 homme et 1 femme, en mars 2015.

Le maximum de projection antérieur de la pommette était mis en évidence à la libre appréciation de l'observateur. Cette zone étant difficilement objectivable, malgré toute la spontanéité qui a pu être mise à son repérage, nous avons choisi de situer une aire correspondant au sommet de l'os zygomatique et non pas un point unique. Un cercle d'un rayon de 0,5 cm était tracé au stylo dermographique et représentait cette aire. D'autres repères étaient dessinés ensuite : la projection cutanée du rebord infraorbitaire, du bord latéral de l'orbite et du bord supérieur de l'arcade zygomatique.

Quelques gouttes de bleu patenté étaient injectées au centre de ce cercle à l'aide d'une fine aiguille, jusqu'au contact osseux. Ainsi été marqué ce qu'on peut supposer être l'éminence osseuse zygomatique.



Cercle rouge : Maximum de projection antérieur de la pommette

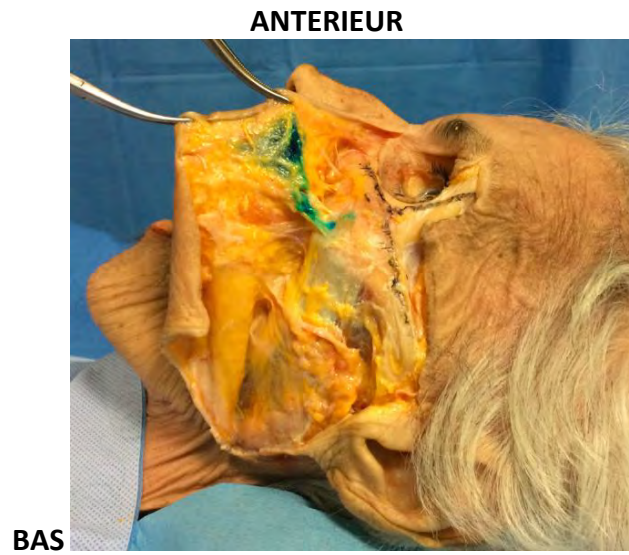
Droite noire horizontale : Projection cutanée du rebord infraorbitaire, se prolongeant latéralement par la projection cutanée du bord supérieur de l'arcade zygomatique.

Droite noire verticale : Projection cutanée du rebord orbitaire latéral.

Injection à l'aiguille au centre du cercle de quelques gouttes de bleu patenté

**Figure 50.** Repérage clinique subjectif du maximum de projection cutanée de la pommette

Les différents plans ont été disséqués jusqu'à abord de l'os. Les repères osseux sont tracés : rebord infraorbitaire, bord latéral de l'orbite et bord supérieur de l'arcade zygomatique.



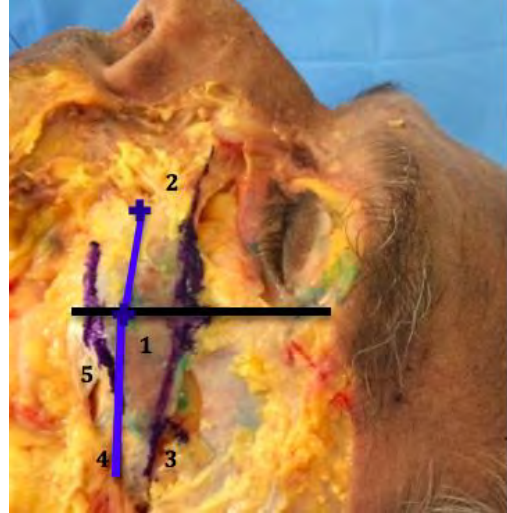
Dissection après injection de bleu patenté au contact osseux puis repérage de la position du sommet tatoué

**Figure 51. Repérage clinique de la zone de l'éminence osseuse zygomatique**



**Sujet A**

Femme visible sur Fig 61 & 62



**Sujet B**

Homme disséqué selon la même méthode

Ces 2 photos sont orientées de la même manière que Fig. 61 & 62

1. Zone de l'éminence zygomatique
2. Nerf V2/Nerf infraorbitaire sortant du foramen infraorbitaire
3. Bord supérieur de l'arcade zygomatique
4. Bord inférieur de l'arcade zygomatique
5. Muscle masséter

Ligne noire verticale : ligne passant par le milieu de la suture zygomatico-frontale

Ligne bleue horizontale : ligne unissant le foramen infraorbitaire à l'éminence zygomatique, parallèle au rebord infraorbitaire. Lorsqu'elle est prolongée au bord inférieur de l'arcade zygomatique, elle reste dans le même plan horizontal mais devient une courbe.

**Figure 52. Repérage clinique de la zone de l'éminence osseuse zygomatique**

**2. Résultats**

Pour les 4 pommettes, le maximum de projection est difficilement objectivable. Nous avons pris parti pour la recherche d'une « zone » de projection maximale et non pas d'un point. Cette zone de 1cm de diamètre est à la libre appréciation de l'observateur.

Une fois les parties molles disséquées, la zone osseuse marquée au bleu (qui peut aussi être extrapolée à un cercle de 1cm) semble se situer approximativement à l'intersection d'une droite horizontale, parallèle au bord infraorbitaire et passant par le

foramen infraorbitaire avec la droite verticale passant par le milieu de la suture fronto-zygomatique.

A noter que la ligne horizontale passant par le foramen du V2 peut être prolongée à la moitié inférieure de l'arcade zygomatique. Elle devient alors une courbe.

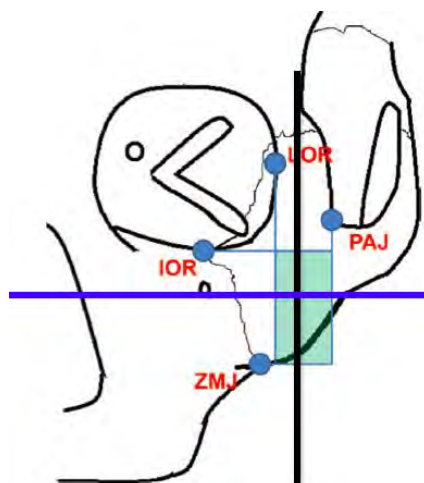
### 3. Discussion

Cette étude anatomique est une étude préliminaire purement observationnelle visant à mieux comprendre où se situe l'éminence zygomatique. Il s'agissait de placer spontanément le maximum de projection de la pommette chez le cadavre puis d'en trouver la correspondance osseuse.

Situer le maximum de projection de la pommette peut paraître simple mais il n'en est rien car celle-ci a une surface courbe, irrégulière avec à la fois une projection antérieure et latérale. Trouver un point unique relève de l'utopie. Les auteurs cités dans le chapitre II parlaient déjà de cette difficulté : celui qui se met à l'œuvre pour trouver ce sommet s'expose à un challenge. C'est pour cela qu'il était demandé dans cette application pratique, de le situer le plus spontanément possible.

Nous avons opté pour le placement d'une zone de projection maximale matérialisée par un cercle de 1 cm de diamètre ce qui nous paraissait plus « raisonnable ». Ce cercle équivaut en fait à la projection cutanée du rectangle évoqué par Nagasao et al. On replace cette surface de 1cm de diamètre après dissection (le centre théorique étant marqué au bleu) car elle est la correspondance osseuse du sommet de la pommette : la encore cette zone se situe dans l'aire du rectangle osseux de Nagasao. Nous rappelons que ce rectangle est la zone où l'on a la plus forte probabilité de trouver l'éminence zygomatique.

D'après nos observations, la zone de l'éminence osseuse zygomatique se situe approximativement autour de l'intersection d'une droite parallèle au bord infra-orbitaire passant par le foramen infraorbitaire avec une droite verticale passant par le milieu de la suture zygomatiko-frontale. Confrontons cette conclusion au rectangle de Nagasao et al. :



Les droites bleue et noire en gras ont été rajoutées par nos soins.

Droite bleue : droite parallèle au bord infraorbitaire passant par le foramen infraorbitaire.

Droite noire : droite passant par le milieu de la suture zygomatico-frontale

Leur intersection se situe dans l'aire rectangulaire de Nagasao, zone de probabilité maximale de présence du sommet zygomatique.

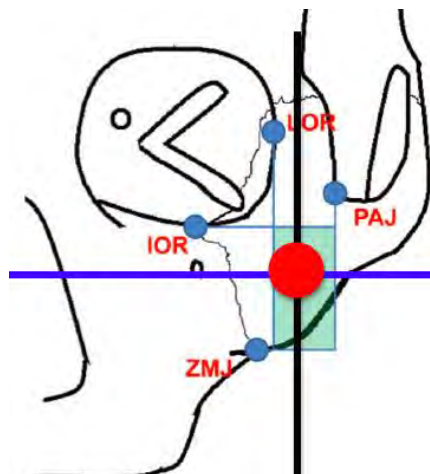
**Figure 53. Eminence zygomatique en fonction du rectangle de Nagasao et al.(99)**

L'intersection des deux droites montrées dans ce travail pratique se situe dans l'aire de probabilité de présence du sommet du zygoma. En outre, elle avoisine le centre de gravité du rectangle de Nagasao.

Dès le début de la manipulation, nous sommes partis du constat qu'il était difficile de situer ce maximum de projection et avons raisonné en matière de surface de projection et pas de point. L'idée du disque nous paraissait bien illustrer cette incertitude, plus qu'un rectangle.

D'ailleurs, le rectangle de Nagasao est obtenu en plaçant plusieurs points d'intérêt qui augmentent le temps de travail et sont difficiles à mettre en parallèle cliniquement et sur les coupes tomодensitométriques que nous aurons à disposition. De plus, avec ces quatre points, le rectangle dépasse de la surface osseuse...

Nous avons misé sur une surface simple d'objectivation plutôt discale pour éviter les différents problèmes : son centre est à l'intersection d'une droite passant par le foramen infraorbitaire et parallèle à la margelle infraorbitaire avec la droite passant par le milieu de la suture fronto-zygomatique. Ce centre est non loin du centre de gravité du rectangle de Nagasao et al., surtout lorsqu'on supprime la partie de celui-ci hors de la surface osseuse. Arbitrairement, nous lui avons donné un diamètre de 1cm.



*Ce schéma n'est pas à l'échelle.*

Le disque rouge (1cm de diamètre choisi arbitrairement) représente la zone de l'éminence zygomatique et se situe autour de l'intersection de la droite parallèle au bord infraorbitaire passant par le foramen infraorbitaire et de la droite passant par le milieu de la suture zygomato-frontale.

**Figure 54. Zone de l'éminence zygomatique d'après le rectangle de Nagasao et al.(99)**

Par ailleurs, ce disque cutané matérialisé à la libre appréciation de l'observateur comprend le point M décrit par Gola et al. et qui est à l'aplomb du rebord orbitaire latéral. M est situé au croisement de 2 lignes : une horizontale passant à mi-chemin entre le canthus médial et la partie inférieure de l'aile du nez ce qui correspond approximativement au niveau de la projection cutanée du foramen infra-orbitaire, l'autre verticale passant par le milieu de la suture zygomato-frontale. La droite verticale se situe sur une zone angulée qui apparaît comme une sorte d'arête large émoussée.

#### 4. Conclusion

Pour le reste de notre étude, en fonction des observations de ce travail anatomique préliminaire, nous considérerons « raisonnablement » que le sommet du zygoma se situe sur une zone voisine du point d'intersection entre la droite parallèle au rebord infraorbitaire passant par le foramen infraorbitaire avec la droite passant pas le milieu de la suture frontozygomatique.

Il existe une réelle difficulté à situer cette zone de proéminence, proposer une aire de présence de l'éminence zygomatique apparaît plus honnête qu'un point. D'autant plus que ce sommet zygomatique bien qu'antérieur et discrètement latéralisé, n'est pas saillant, pouvant être qualifié d'émoussé : c'est ce « polissage naturel » qui nous empêche de bien le situer.



## IV. Description générale

*Pour construire notre méthodologie ostéométrique, nous avons reçu l'aide, la bienveillance et le précieux savoir mathématique de **Mr Sébastien DEJEAN**, ingénieur de recherche (mathématiques industrielles, calcul scientifique et statistique), Laboratoire de Statistiques et Probabilités UMR 5583, UPS-CNRS-INSA, Toulouse.*

### 1. Mesures ostéométriques tomodensitométriques de l'os zygomatique

#### A. Informations disponibles

##### **Éléments radiologiques**

1) Pour chaque patient avec ou sans fracture, nous disposons d'examen tomographiques : tomodensitométrie ou Cone beam du massif facial.

Les tomodensitométries ont toutes été réalisées aux CHU Purpan et Rangueil de Toulouse sur des appareils différents, avec du personnel chaque fois différent. Les modalités d'acquisition et de traitement de l'examen étaient très variables (espacement entre les coupes, fenêtrage, etc.).

Les tomographies à faisceau conique ont toutes été acquises au CHU Purpan, dans le service de chirurgie maxillo-faciale du Pr Boutault, sur le même appareil. Le manipulateur radiologique pouvait être différent d'un examen à l'autre. Les modalités d'acquisition et de traitement de l'examen étaient également variables.

2) Tous ces examens ont été récupérés de manière rétrospective. Les images ont été retraitées de manière standardisée à défaut d'avoir été acquises dans le but de réaliser cette étude avec un protocole de recherche parfaitement édité. Les différentes manipulations sur les images natives, récupérés sur le serveur du CHU de Toulouse (avec accord des chefs de service de radiologie) ont été réalisées sur le logiciel OSIRIX Lite® pour Macintosh®, version 6.5.1. (avril 2015).

##### **Données bibliographiques (cf. Chapitre II)**

1) Il existe un sommet émoussé à l'os zygomatique qui correspond à son maximum de projection antérieure voire antéro-latérale mais qui est difficile à objectiver cliniquement et radiologiquement. Il existe une aire de probabilité de présence de l'éminence (rectangle de Nagasao et al.) antéro-latérale sur le corps de l'os zygomatique, au niveau des 2/3 inférieurs.

2) L'idéal est de situer le sommet de l'os zygomatique sur un scanner en 3D.

3) Il est possible d'analyser le sommet de l'os zygomatique sur une coupe axiale, de préférence avec un système de coordonnées acquis en 3D, à défaut avec un axe de référence correspondant à l'axe de symétrie de la base du crâne et du massif facial passant par le milieu du clivus.

4) L'être humain (sans dysmorphose connue) est symétrique. Une différence maximale de 2,5mm entre les 2 hémicrânes et hémifaces est connue. Cette symétrie peut être étudiée et attestée sur coupe tomодensitométrique axiale.

### **Données expérimentales**

1) Nous avons vu à travers une étude anatomique sur cadavre frais que le sommet de l'os zygomatique se situe autour de l'intersection de la droite horizontale parallèle à la margelle infraorbitaire et passant par le foramen infraorbitaire avec la droite verticale passant par le milieu de la suture zygomatoco-frontale. Cette zone est antérolatérale.

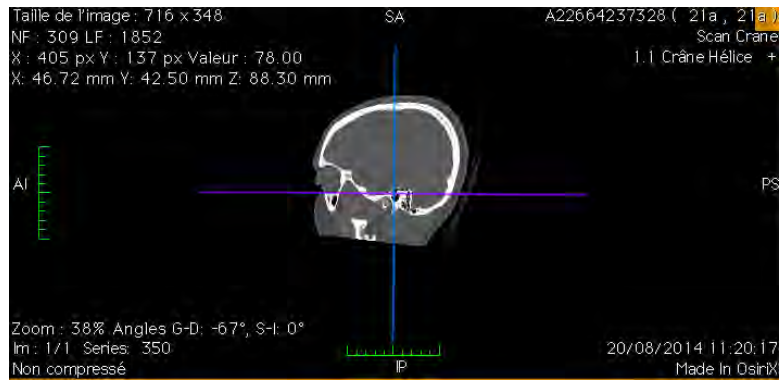
2) Un point unique matérialisant le sommet zygomatique paraît très même trop ambitieux, mieux vaut raisonnablement se satisfaire d'une zone reflétant l'éminence zygomatique : elle se situe autour de notre fameux point d'intersection, à la hauteur du foramen infra-orbitaire, sur une surface proéminente et émoussée.

#### **B. Elaboration du référentiel de mesures ostéométriques**

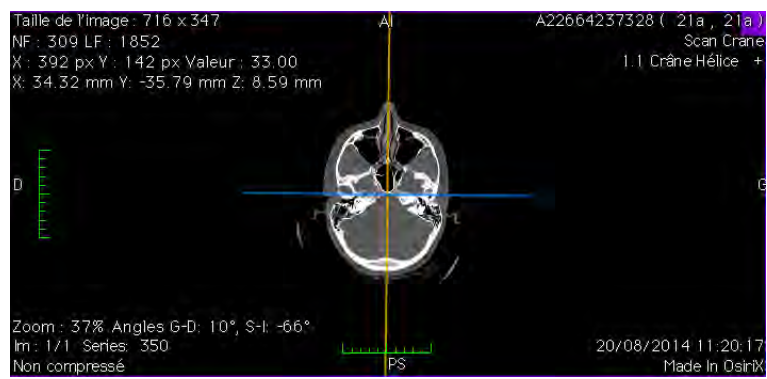
### **Recalage des examens tomographiques**

Avant de commencer quelconques mesures, l'examen tomographique doit être recalé dans le plan horizontal de Francfort, référence anatomique consensuelle : c'est le plan horizontal qui passe par le point le plus bas du rebord orbitaire inférieur et par le point le plus haut du conduit auditif externe (tragion en point cutané et porion en point osseux)

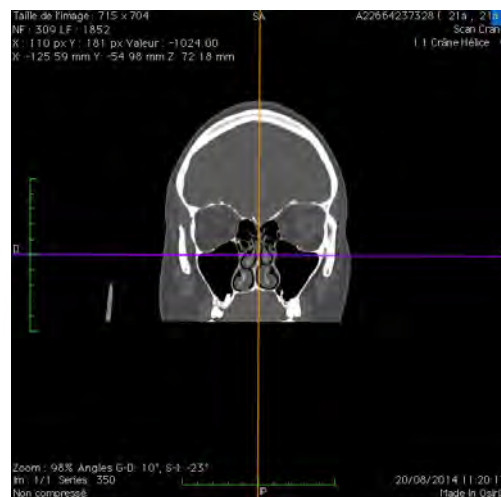
L'examen est également recentré dans les plans axial et coronal



**Recalage dans le plan de Francfort**



**Recentrage dans le plan axial**



**Recentrage dans le plan coronal**

**Figure 55.** Exemple de recalage d'un examen tomодensitométrique normal

Les Cone Beam étaient recalés selon cette méthode, sans différence ni problème particulier.

### **Impossibilité de situer le sommet sur des reconstructions en 3D**

En raison des modalités d'acquisition très variables d'une tomographie à l'autre, la qualité des reconstructions en 3D faites avec le logiciel Osirix® étaient fluctuantes, allant de la reconstruction fonctionnelle pour notre étude à l'impossibilité totale d'obtenir une image en 3D.

L'idéal selon Gong et al. de mise en évidence du sommet zygomatique sur reconstruction en 3D avec un système d'axes en 3D n'a pas pu être réalisé pour cette étude. **Le sommet sera donc recherché en 2D.**

De plus en considérant les futures applications cliniques de ces tomographies en contrôle per et post opératoires, il est logique de raisonner en fonction de la pratique. En per opératoire, les C-Arm ne réalisent pas tous de reconstructions en 3D. Mieux vaut bâtir un référentiel en 2D qui sera applicable au bloc opératoire.

### **Coupe et axe de référence**

La coupe axiale est celle qui permet de voir la morphologie du complexe zygomatique dans sa totalité. C'est elle qui est étudiée dans les études de Furst et Gong. Nous choisirons une coupe axiale au niveau du complexe zygomatique visible dans sa totalité. **Nous optimiserons cette coupe axiale unique, qui sera notre seul objet de travail car nous avons pour objectif d'accélérer, simplifier et préciser les procédures de contrôle tomographique per et post opératoire.**

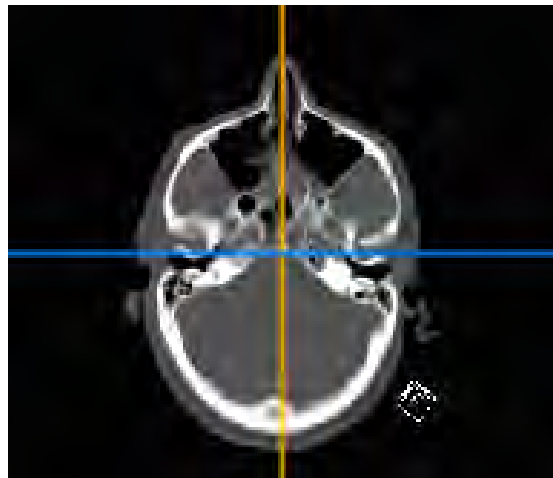
Nous n'avons de cesse de répéter qu'il existe de grandes variations d'acquisitions et de reconstructions dans les tomographies natives : notamment au niveau de l'espacement entre les coupes. Il n'a bien sûr pas toujours été possible de placer notre coupe axiale au niveau souhaité et idéal c'est-à-dire à la hauteur du foramen infra-orbitaire.

Nous considérerons que cette difficulté a peu d'impact car nous avons pris parti pour une zone d'éminence zygomatique et pas un point. On peut alors trouver le maximum de projection de l'os zygomatique sur plusieurs niveaux de coupe à condition que l'on se situe bien dans la zone que nous avons définie soit au maximum à 0,5cm au dessus ou 0,5 cm ou dessous de la ligne horizontale passant par le foramen zygomatique.

Nous choisirons pour axe de référence le plan de symétrie de la face et de la base du crâne, passant par le milieu du clivus et parfaitement vertical. Il n'est pas l'idéal en 3D selon Gong et al. mais est validé. Nous préférons travailler dans un référentiel en 2D.

**Au total, nous tracerons notre analyse sur une coupe axiale parfaitement centrée et recalée dans le plan de Francfort passant dans l'idéal par le foramen**

**infra-orbitaire, à défaut au maximum à 0,5 cm au dessus ou au dessous, et mettant en évidence la totalité du complexe zygomatique.**



Axe orange : axe de symétrie de la base du crâne passant par le milieu du clivus

L'axe bleu doit être négligé.

Cette coupe visualise la totalité du complexe zygomatique et passe par le foramen du nerf infra-orbitaire.

**Figure 56. Exemple de coupe axiale de référence sur TDM normale**

Les TDM et Cone Beam sont traités selon la même méthode.

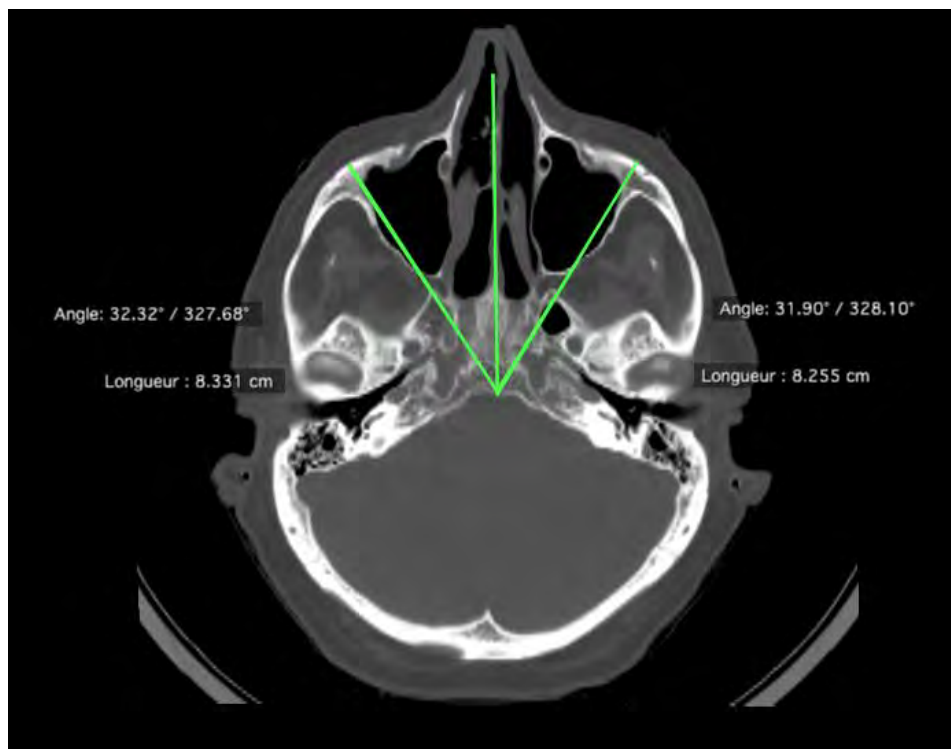
### **Evaluation du sommet de l'os zygomatique et de sa morphologie**

**Distance au sommet** dite **S** : une fois la coupe obtenue et l'axe de symétrie placé, il s'agit de mettre en évidence le maximum de projection de l'os zygomatique qui est en position antéro-latérale. Le logiciel Osirix® calcule automatiquement les distances : le curseur était donc placé sur la surface osseuse la plus éloignée de l'origine du référentiel. Cette distance détermine **la projection antérieure maximale de l'éminence.**

**Secteur d'angle au sommet** dit  **$\alpha S$**  : c'est l'angle entre l'axe vertical passant par le milieu du clivus et la droite matérialisant la distance au sommet. Ce secteur d'angle correspond à **la latéralisation de l'éminence.** Le fait de la caractériser n'a pas été décrit dans les autres études et nous semble une donnée intéressante à exploiter en chirurgie.

❖ **Remarque** : nous rappelons que l'éminence, se situe à l'intersection du plan horizontal passant par le foramen infra-orbitaire et par le plan sagittal passant par le milieu du de la suture fronto-zygomatique : nous ne vérifierons pas ce plan sagittal dans

notre étude, bien que ce soit tout à fait possible, car nous souhaitons optimiser l'utilisation d'une seule coupe axiale pour l'appliquer à des procédures per-opératoires.



Longueur : S  
Angle :  $\alpha$ S

**Figure 57.** Exemple de mise en évidence de S et  $\alpha$ S sur TDM normale

**Angle morphologique zygomatique** dit  $\alpha$ Z : rétablir la projection antérieure et latérale de l'os zygomatique est un des enjeux de la chirurgie. Mais il faut également rétablir sa morphologie courbe. Nous rappelons, que d'après nos observations, la surface correspondant au sommet est émoussée et s'étant sur plusieurs millimètres. **L'idée de rechercher un angle morphologique de l'os zygomatique est inédite et non publiée à ce jour.**

Cet angle est une modélisation de la droite horizontale passant par le foramen zygomatique et le sommet du zygoma qui se prolonge au bord inférieur de l'arcade zygomatique en formant une courbe.

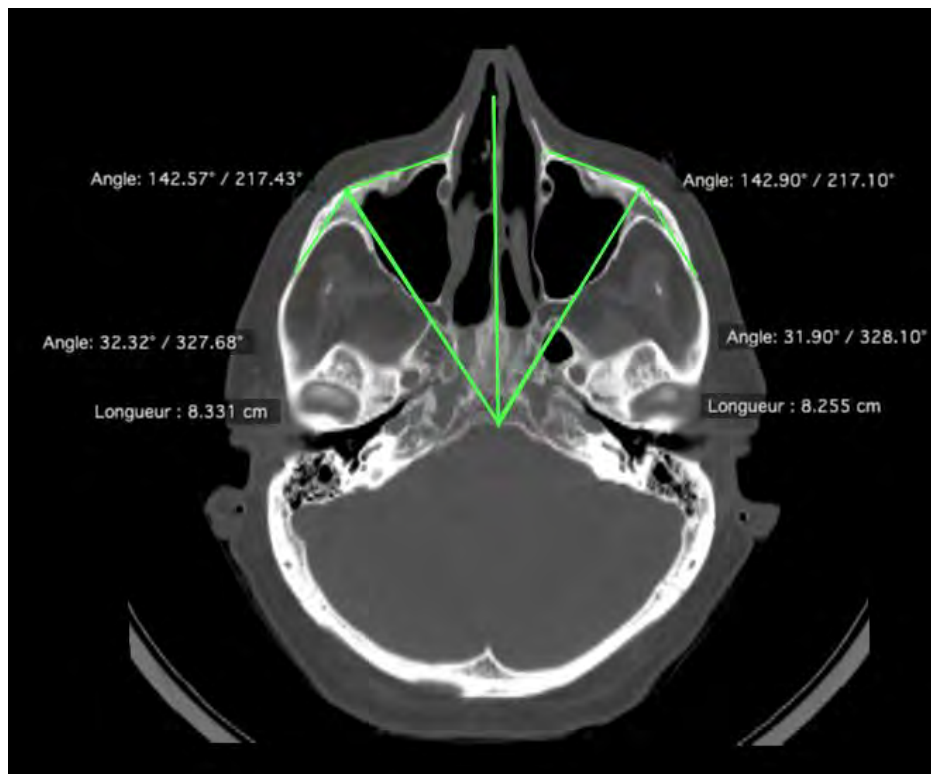
Donner une valeur à une courbe est difficile avec Osirix® ou avec un logiciel d'imagerie dont iplannet®. Nous opterons donc pour un angle matérialisant cette zone courbe.

- La première droite tracée relie le foramen zygomatique au sommet du zygoma : elle est en fait quasi confondue avec la surface antérieure du corps de l'os zygomatique. Si la coupe se situe dans la zone de 5mm de part et d'autre de ce foramen,

il suffira en fait de tracer une droite confondue à la surface antérieure de l'os zygomatique et passant par le sommet.

- La deuxième droite passe par le sommet du zygoma et représente le relief de l'arcade zygomatique. L'arcade est très courbée : il existe une multitude de tangentes à cette partie de l'os. Il faut choisir un point fixe et standardisé pour tracer cette deuxième droite. Nous choisirons la suture entre os zygomatique et os temporal pour point fixe : elle représente donc une droite moyenne de la morphologie du processus temporal du zygoma. Par contre, elle ne se situera pas à la surface de l'arcade mais pondèrera le processus temporal en formant une droite moyenne. Cela ne constituera pas un problème, si nous prouvons que cet angle est symétrique. De plus cette deuxième droite est tracée de manière fiable et reproductible car elle est obtenue à partir d'un point fixe.

En fait, nous prenons en compte la projection latérale du zygoma au niveau du processus temporal.



S et  $\alpha S$  sont obtenues dans un premier temps.

**Figure 58.** Exemple de mise en évidence de  $\alpha Z$  sur TDM normale

Au total grâce à S et  $\alpha S$ , on mesure la projection antéro-latérale de l'éminence zygomatique.

Grâce à  $\alpha Z$ , on modélise la morphologie du sommet zygomatique qu'on peut extrapoler à la morphologie globale de l'os zygomatique. Effectivement, la

**première droite se prolonge à la surface antérieure du corps du zygoma et la deuxième est une droite moyenne représentant le processus temporal, obtenue à partir d'un point fixe.**

### **Validation du référentiel en vue de l'application chirurgicale**

Il faut prouver que ces mesures sont fiables et reproductibles : toutes les mesures seront réalisées par deux observateurs différents expérimentés en chirurgie maxillo-faciale, sur une coupe axiale sélectionnée par un tiers selon les règles citées précédemment.

L'étude de la littérature confirme que le massif facial est symétrique à 2,5mm près. Il faut donc prouver que notre référentiel ostéométrique respecte la symétrie du massif facial : ces mesures sur TDM et Cone Beam doivent mettre en évidence cette symétrie.

## **2. Protocole de recherche**

### **A. Etude de TDM normaux**

#### **Objectifs**

- 1) Prouver que S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  sont fiables et reproductibles.
- 2) Prouver que S,  $\alpha S$ ,  $\alpha Z$  sont symétriques.

#### **Méthode**

Une quantité de TDM normaux équivalente et comparable à notre population de patients fracturés sera analysée afin de prouver que les critères ostéométriques sont fiables.

Toutes les mesures sont réalisées par deux observateurs différents selon les règles établies.

Le recalage dans le plan de Francfort, le recentrage et le niveau de coupe sont sélectionnés par un tiers examinateur tout aussi expérimenté, pour éviter les biais dans les recalages qui peuvent être variés selon les observateurs (la mise en place des axes de recalage est variable d'un observateur à l'autre) et le choix de la coupe.

❖ Remarque : nous n'avons pas pu réalisé cette partie de l'étude sur Cone Beam car nous n'avons pas à disposition suffisamment d'examen normaux.



## B. Etude des TDM et Cone Beam pathologique

### Objectifs

- 1) Prouver que S,  $\alpha S$ ,  $\alpha Z$  sont applicables sur TDM et Cone Beam
- 2) Etudier la variation de ces mesures après réparation de fracture de l'os zygomatique en la comparant au côté sain controlatéral.
- 3) Envisager une application directe dans le contrôle per-opératoire, à défaut dans le contrôle post-opératoire tomographique de la réparation de fracture de l'os zygomatique.

### Objectifs secondaires

Nous avons profité de cette étude pour réaliser des statistiques sur la cohorte de patients atteints de fracture de l'os zygomatique unilatérale dans le service de chirurgie maxillo-faciale du CHU de Toulouse du Pr Boutault, ces deux dernières années. Une étude épidémiologique a été menée sur le flux de patient, les modalités du traitement chirurgical et des contrôles radiologiques.

### Critères de sélection

Tous les patients présentant :

- une fracture de l'os zygomatique (corps et/ou arcade)
- un hémilefort II (et III)

Et ayant :

- une imagerie tomographique pré-opératoire (TDM ou Cone Beam)
- **et** une imagerie tomographique post-opératoire (TDM ou Cone Beam) pouvaient être inclus.

Etaient systématiquement exclus les patients présentant des fractures bilatérales du tiers moyen de la face.

## Méthode

Les calculs de  $S$ ,  $\alpha S$ ,  $\alpha Z$  seront effectués sur les tomographies per-opératoires et post-opératoires par un seul observateur.

Les examens pré-opératoire à disposition étant souvent des TDM et les post-opératoires des Cone Beam, les côtés sains ont pu être comparés pour mettre en évidence une équivalence dans le repérage de  $S$ ,  $\alpha S$ , et  $\alpha Z$  entre les deux types de tomographies. Nous n'avons pas pu comparer l'équivalence entre Cone Beam et TDM concernant la symétrie car très peu de Cone Beam normaux contrairement à la TDM étaient à notre disposition.

Nous avons évalué la qualité de la réduction fracturaire à travers l'hypothèse que  $S$ ,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  devaient être rétablis de manière symétrique au côté sain.

En parallèle, nous avons confronté la qualité de notre réduction à un mirroring élaboré grâce à un logiciel de planification virtuel iplannet®. Ce mirroring faisait office de standard dans la qualité de notre réduction.

~

Nous venons d'élaborer notre référentiel géométrique en nous appuyant sur les données scientifiques. Nous avons proposé une méthodologie en vue d'une application chirurgicale.

Ce référentiel prendra en compte le maximum de projection antérieure, la latéralisation du sommet et un angle morphologique de l'os zygomatique et modélisera la « charpente » externe du pare-choc de la pommette.

Il sera bâti en 2D faute d'avoir acquis nos examens tomographiques selon une méthode standardisée. Il aura pour principal rôle d'apprécier la symétrie du massif facial et sa projection principalement antéro-latéral, en utilisant un axe central vertical dit de symétrie du massif facial qui passera par le milieu du clivus.

Il devra d'abord être testé sur des examens d'imagerie de sujet sain pour valider sa fiabilité. On l'appliquera secondairement au massif facial traumatisé. On optimisera le travail géométrique sur une seule et unique coupe axiale dans l'idée de nous simplifier la tâche lors d'hypothétiques contrôles tomographiques per-opératoires et d'augmenter la rapidité de la vérification.

~

### **CHAPITRE III. OSTEOMETRIE TOMOGRAPHIQUE DE L'OS ZYGOMATIQUE SUR TOMODENSITOMETRIE ET CONE BEAM APPLIQUEE A LA TRAUMATOLOGIE DU MASSIF FACIAL : ETUDE PRELIMINAIRE RETROSPECTIVE SUR 28 PATIENTS DU CHU DE TOULOUSE.**

*Tout ce chapitre a pu être réalisé grâce à l'aide, à la bienveillance et au savoir faire de Mr **Thierry ALMONT**, épidémiologiste, équipe d'accueil EA 36 94 « Groupe de recherche en fertilité humaine ».*

Nous profiterons du recrutement de notre échantillon de patients présentant une fracture unilatérale de l'os zygomatique pour réaliser des statistiques épidémiologiques sur les patients opérés d'une fracture zygomatique, ces deux dernières années, dans le service de chirurgie maxillo-faciale du CHU de Toulouse du Pr Boutault. Nous pourrions ainsi avoir un retour sur nos habitudes chirurgicales et leur conformité avec la littérature scientifique.

Nous testerons la fiabilité et la reproductibilité de notre référentiel en double lecture sur des tomodensitométries normales dans une deuxième partie. Puis nous appliquerons nos tracés géométriques aux zygomas ayant bénéficié d'une réparation chirurgicale. Nous verrons quelles sont les valeurs les plus pertinentes, et qui seront de ce fait, les plus prometteuses en matière de contrôle chirurgical per et post-opératoire. Nous discuterons naturellement nos résultats et ouvrirons des perspectives d'avenir.

## I. Epidémiologie des patients atteints de fractures de l'os zygomatique

### 1. Epidémiologie des patients fracturés

Ce paragraphe est une statistique sur les patients présentant une fracture de l'os zygomatique unilatérale, opérés dans le service de chirurgie maxillo-faciale du CHU de Toulouse du Pr Boutault, approximativement ces deux dernières années. Il est destiné à fournir des informations internes au service.

La cohorte analysée a permis d'isoler notre échantillon d'étude pour l'ostéométrie du zygoma.

❖ Remarque : certains commentaires seront donnés directement, d'autres seront repris dans la discussion final avec un focus sur notre échantillon pathologique inclus pour l'élaboration du référentiel ostéométrique.

96 patients ont été opérés dans le service de chirurgie maxillo-faciale du CHU de Toulouse pour fracture de l'os zygomatique ou fracture d'hémiLefort II de août 2012 à décembre 2014.

#### A. Sexe

La cohorte des patients opérés est composée de 12 femmes et 84 hommes soient respectivement 12,5% et 87,5%. Le sex-ratio est de 7.

#### B. Age

Age	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
Date de naissance	96	08/04/1923	12/16/1997	03/19/1978	5445 17:47:23,547
Age	96	16	91	35,80	15,013

**Tableau 1. Etude de l'âge**

#### C. Etiologie du traumatisme

<b>Etiologie</b>	Fréquence	Pourcentage
AVP	14	14,6
Accident domestique	12	12,5
Accident professionnel	6	6,3
Malaise	3	3,0
Rixe	38	39,6
Sport	23	24,0
Total	96	100,0

AVP : accident de la voie publique

### **Tableau 2. Etude de l'étiologie**

Sur notre cohorte de patients accidentés en Midi-Pyrénées, arrivent en tête des étiologies les actes de violence à 39,6%.

Puis :

- Les accidents de sport : 23%
- Les accidents de la voie publique (4 roues et 2 roues) : 24%
- Les accidents domestiques (chute, bricolage, etc.) : 12,5%
- Les accidents professionnels : 6,3%
- Les malaises : 3%

**L'épidémiologie des patients traités dans le service de chirurgie maxillo-faciale de Toulouse présente une bonne cohérence externe.** Elle correspond aux données de l'épidémiologie générale. Nos patients présentant une fracture de l'os zygomatique sont en majorité des hommes jeunes. Les étiologies les plus fréquentes sont les actes de violence comme dans la majorité des pays européens.

## 2. Epidémiologie des fractures

### A. Côté fracturé

Il y avait 35 patients fracturés du côté droit (36,5%) et 61 patients du côté gauche (63,5%).

La majorité des fractures surviennent sur l'os zygomatique gauche. En effet, dans le cas des actes de violences, plus de la moitié des individus pugilistes sont droitiers et assènent les coups de poing sur l'hémiface gauche du dit « adversaire ».

### B. Classification des fractures

<b>Classification de ZINGG</b>	Fréquence	Pourcentage
A1	37	38,4
A2	1	1,0
A3	3	3,1
A3 (contexte d'HémiLefort 2)	3	3,1
B	45	47
C	7	7,4
Total	96	100,0

**Tableau 3. Classification des fractures selon Zingg**

Les fractures de notre cohorte initiale ont pu être classifiées par l'étude des tomographies pré-opératoires sur OsirixLite® si elles étaient disponibles ou à partir du compte-rendu opératoire. Comme certaines imageries pré-opératoires manquaient, les fractures n'ont pas pu être caractérisées selon la classification de Knight étudiant précisément les déplacements osseux et les images l'attestant doivent être à disposition.

Les fractures les plus couramment prises en charge sont les fractures tétrapodes du complexe zygomatique (ou disjonction) de type B soit 47% de notre cohorte de fracturés. Puis arrivent, les fractures de l'arcade zygomatique de type A1 : 38,4% et les fractures comminutives du complexe zygomatique de type C : 7,4%.

### C. Etude des voies d'abord

Sur les 96 patients fracturés, toutes les voies d'abord ainsi que leur combinaison ont été étudiées afin de faire le point sur notre pratique chirurgicale.

Voie d'abord	Fréquence	Pourcentage
CP	42	43,8
CP, V	1	1,0
G	2	2,1
K	2	2,1
SC, SO	2	2,1
SC, SO, V	12	12,5
SC, V	9	9,4
SO	2	2,1
TC	2	2,1
TC, CP	1	1,0
TC, SO	1	1,0
TC, SO, V	5	5,2
TC, V	8	8,3
V	7	7,3
Total	96	100,0

CP : crochet percutané

G : voie d'abord temporal de Gillies

K : voie d'abord endobuccal de Keen

V : voie d'abord vestibulaire

SC : voie d'abord sous-cillière

SO : voie d'abord supra-orbitaire

TC : voie d'abord transconjonctivale

**Tableau 4. Etude des voies d'abord et de leur combinaison**

En résumé, il y a eu :

- 43 crochets percutanés soient 45,8% des patients
- 42 voies d'abord vestibulaire soient 43,8% des patients
- 22 voies d'abord sous-ciliaire soient 22,9% des patients
- 22 voies d'abord supra-orbitaire soient 22,9% des patients
- 17 voies d'abord transconjonctivales soient 17,7% des patients
- 2 voies d'abord de Gillies soient 2,1% des patients
- 2 voies d'abord de Keen soient 2,1% des patients
- Les 3 sutures ont été abordées chez 17 patients soient 17,7% des

patients

#### D. Etude des sites d'ostéosynthèse

Sur les 96 patients fracturés, tous les sites d'ostéosyntheses ont été étudiés, ainsi que leur combinaison, et l'éventuelle réfection du plancher de l'orbite associée.



Site d'ostéosynthèse	Fréquence	Pourcentage
Pas d'ostéosynthèse	50	52,1
IO	6	6,3
IO, ZF	4	4,2
IO, ZF, ZM	12	12,5
IO, ZM	11	11,5
ZF	2	2,1
ZF, ZM	1	1,0
ZM	10	10,4
Total	96	100,0

IO : Rebord infraorbitaire

ZF : suture zygomatoco-frontale

ZM : console zygomatoco-maxillaire

**Tableau 5. Etude des sites ostéosynthèses et leur combinaison**

Réfection PO	Fréquence	Pourcentage
PDS	15	15,6
Rien	81	84,4
Total	96	100,0

**Tableau 6. Etude de la réfection du plancher de l'orbite**

Toutes les réfections du plancher de l'orbite ont été effectuée selon la même technique : réfection par film résorbable de PDS® sur voie d'abord transconjonctivale ou sous-ciliaire. Seul un patient a bénéficié d'une reconstruction secondaire par grille titane pour énoptalmie séquellaire après échec d'une première plaque : il est compté dans l'échantillon initial des reconstruits par plaque de PDS®.

En résumé, il y eu :

- 34 synthèses de la console zygomatoco-maxillaire soient 35,4% des patients
- 33 synthèses du rebord infra-orbitaire soient 34,4% des patients
- 19 synthèses de la suture zygomatoco-frontale soient 19,8% des patients
- 50 patients ont bénéficié d'une réduction sans ostéosynthèse 52,1% des patients.
- 15 réfections du plancher de l'orbite associée par plaque de PDS® soient 15,6% des patients

#### E. Etude des voies d'abord et des sites d'ostéosynthèse

Les sites des voies d'abord ont ensuite été croisés avec le site opératoire.

Tableau croisé Voie d'abord * IO					
		IO			
		Non	Oui		
Voie d'abord	CP	Effectif	42	0	42
		% dans IO	66,7%	0,0%	43,8%
	CP, V	Effectif	1	0	1
		% dans IO	1,6%	0,0%	1,0%
	G	Effectif	2	0	2
		% dans IO	3,2%	0,0%	2,1%
	K	Effectif	2	0	2
		% dans IO	3,2%	0,0%	2,1%
	SC, SO	Effectif	0	2	2
		% dans IO	0,0%	6,0%	2,0%
	SC, SO, V	Effectif	0	12	12
		% dans IO	0,0%	36,4%	12,5%
	SC, V	Effectif	0	9	9
		% dans IO	0,0%	27,3%	9,4%
	SO	Effectif	2	0	2
		% dans IO	3,2%	0,0%	2,1%
	TC	Effectif	1	1	2
		% dans IO	1,6%	3,0%	2,1%
	TC, CP	Effectif	1	0	1
		% dans IO	1,6%	0,0%	1,0%
	TC, SO	Effectif	0	1	1
		% dans IO	0,0%	3,0%	1,0%
	TC, SO, V	Effectif	3	2	5
		% dans IO	4,8%	6,1%	5,2%
	TC, V	Effectif	2	6	8
		% dans IO	3,2%	18,2%	8,3%
	V	Effectif	7	0	7
		% dans IO	11,1%	0,0%	7,3%
Total		Effectif	63	33	96
		% dans IO	100,0%	100,0%	100,0%

**Tableau 7. Ostéosynthèse du rebord infraorbitaire en fonction des voies d'abord et de leur combinaison**

Les voies d'abord transconjonctivales se soldent très souvent par la mise en place de matériel d'ostéosynthèse lorsque ce n'est pas le cas, c'est pour la mise en place d'une plaque de PDS®.

Les voies d'abord sous-ciliaires se soldent toujours par la mise en place de matériel d'ostéosynthèse. Cette voie est réputée pour être pourvoyeuse de

complications : il semble que l'équipe toulousaine l'utilise à bon escient c'est à dire pour y mettre du matériel et pas simplement pour contrôler la réduction fracturaire.

Les fractures tétrapodes ne sont pas systématiquement ostéosynthésées au niveau du rebord infra-orbitaire.

Tableau croisé Voie d'abord * ZF					
			ZF		Total
			Non	Oui	
Voie d'abord	CP	Effectif	42	0	42
		% dans ZF	54,5%	0,0%	43,8%
	CP, V	Effectif	1	0	1
		% dans ZF	1,3%	0,0%	1,0%
	G	Effectif	2	0	2
		% dans ZF	2,6%	0,0%	2,1%
	K	Effectif	2	0	2
		% dans ZF	2,6%	0,0%	2,1%
	SC, SO	Effectif	0	2	2
		% dans ZF	0,0%	10,6%	2,0%
	SC, SO, V	Effectif	0	12	12
		% dans ZF	0,0%	63,2%	12,5%
	SC, V	Effectif	9	0	9
		% dans ZF	11,7%	0,0%	9,4%
	SO	Effectif	0	2	2
		% dans ZF	0,0%	10,5%	2,1%
	TC	Effectif	2	0	2
		% dans ZF	2,6%	0,0%	2,1%
	TC, CP	Effectif	1	0	1
		% dans ZF	1,3%	0,0%	1,0%
TC, SO	Effectif	1	0	1	
	% dans ZF	1,3%	0,0%	1,0%	
TC, SO, V	Effectif	2	3	5	
	% dans ZF	2,6%	15,8%	5,2%	
TC, V	Effectif	8	0	8	
	% dans ZF	10,4%	0,0%	8,3%	
V	Effectif	7	0	7	
	% dans ZF	9,1%	0,0%	7,3%	
Total		Effectif	77	19	96
		% dans ZF	100,0%	100,0%	100,0%

**Tableau 8. Ostéosynthèse de la suture zygomatiko-frontale en fonction des voies d'abord et de leur combinaison**

3 patients ont été incisés en zone supra-orbitaire pour contrôle clinique de la réduction et n'ont pas bénéficié d'ostéosynthèse. Cela aurait pu être évité par une tomographie per-opératoire.

Toutes les fractures tétrapodes ont bénéficié de la mise en place d'une plaque sur la suture fronto-zygomatique.

<b>Tableau croisé Voie d'abord * ZM</b>					
			ZM		Total
			Non	Oui	
Voie d'abord	CP	Effectif	42	0	42
		% dans ZM	67,7%	0,0%	43,8%
	CP, V	Effectif	1	0	1
		% dans ZM	1,6%	0,0%	1,0%
	G	Effectif	2	0	2
		% dans ZM	3,2%	0,0%	2,1%
	K	Effectif	2	0	2
		% dans ZM	3,2%	0,0%	2,1%
	SC, SO	Effectif	2	0	2
		% dans ZM	3,2%	0,0%	1,0%
	SC, SO, V	Effectif	1	11	12
		% dans ZM	1,6%	32,4%	12,5%
	SC, V	Effectif	4	5	9
		% dans ZM	6,5%	14,7%	9,4%
	SO	Effectif	2	0	2
		% dans ZM	3,2%	0,0%	2,1%
	TC	Effectif	2	0	2
		% dans ZM	3,2%	0,0%	2,1%
	TC, CP	Effectif	1	0	1
		% dans ZM	1,6%	0,0%	1,0%
	TC, SO	Effectif	1	0	1
		% dans ZM	1,6%	0,0%	1,0%
	TC, SO, V	Effectif	2	3	5
		% dans ZM	3,2%	8,8%	5,2%
TC, V	Effectif	0	8	8	
	% dans ZM	0,0%	23,5%	8,3%	
V	Effectif	0	7	7	
	% dans ZM	0,0%	20,6%	7,3%	
Total		Effectif	62	34	96
		% dans ZM	100,0%	100,0%	100,0%

**Tableau 9. Ostéosynthèse de la console zygomatoco-maxillaire en fonction des voies d'abord et de leur combinaison**

34 patients sur les 46 ayant bénéficié d'une ostéosynthèse sur au moins un site ont eu une synthèse du cintre zygomatoco-maxillaire. Nous considérons que la réparation de la console est un élément clef dans la réparation des fractures de l'os zygomatique.

Par ailleurs :

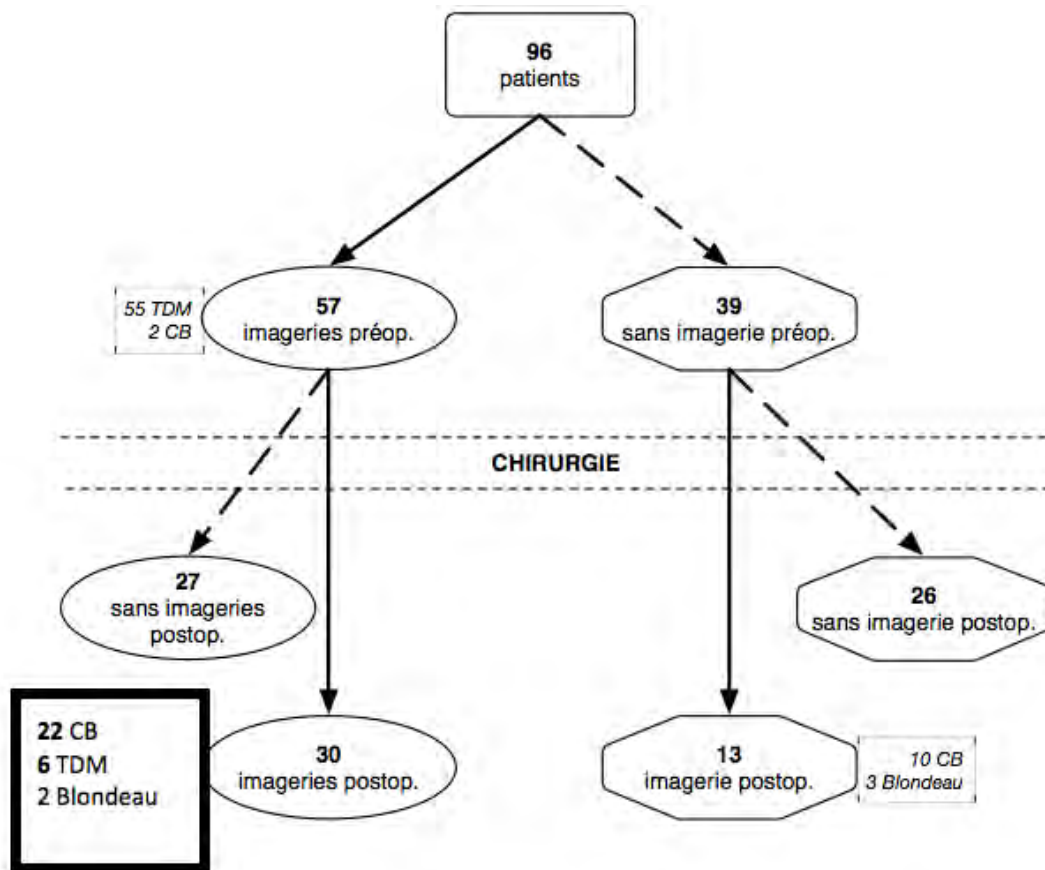
- Sur les 50 patients n'ayant pas nécessité d'ostéosynthèse, 47 ont eu un procédé indirect de réduction, dont 1 patient qui a d'abord bénéficié d'un crochet percutané converti en voie d'abord vestibulaire supérieure et dont la finalité a été l'absence de mise en place de matériel sur le cintre. Cet événement aurait pu être évité par un contrôle tomographique per-opératoire.

- Deux patients ont eu une voie d'abord transconjonctivale seule (fracture A3) pour mise en place d'un PDS®. Cependant, un patient a eu 3 voies d'abord pour les 3 sites pour ne bénéficier finalement que de la pose d'un PDS®. Cet excès de voies ouvertes pour contrôle visuel de la réduction aurait pu être évité par une imagerie per-opératoire.

### 3. Echantillon de l'étude

Les critères d'inclusion dans cette étude étaient :

- Fracture unilatérale de l'os zygomatique (corps et/ou arcade)
  - Héli Lefort II (ou Héli Lefort III rarissime)
- ET
- Imagerie **tomographique** (TDM ou Cone Beam) pré **et** post-opératoire



**28 patients répondant aux critères de fractures unilatérales bénéficient d'une imagerie tomographique pré et post opératoire.**

**Figure 59.** Diagramme des flux de l'inclusion des patients.

Au total, 28 patients peuvent être inclus dans notre étude ostéométrique. 27 d'entre eux ont une TDM pré-opératoire et 1 a un Cone Beam. En post opératoire, 22 patients ont un Cone Beam et 6 une TDM.

## II. Etude ostéométrique

### 1. Ostéométrie tomodensitométrique des os zygomatiques normaux

L'évaluation ostéométrique de l'os zygomatique et de sa symétrie a été réalisée dans un premier temps sur 30 TDM normales car nous n'avions pas à disposition suffisamment de Cone Beam normaux.

Cet échantillon de scanners normaux nous a permis de tester la fiabilité et la reproductibilité de notre référentiel ostéométrique.

## A. Matériel et méthode

30 scanners normaux du massif facial réalisés au CHU de Toulouse Rangueil et Purpan entre juin 2014 à décembre 2014 ont été analysés. Les patients étaient initialement scannés pour traumatisme crânien avec perte de connaissance à 4H du traumatisme. Les 2/3 supérieurs de la face ont été analysés en coupe parenchymateuse et osseuse par nos confrères radiologues.

Ont été exclus tous patients présentant une dysmorphose du massif facial. Les TDM ont été acquises avec des appareils différents et dans des conditions différentes.

Elles ont été recalées dans le plan de Francfort et recentrées grâce au logiciel OSIRIX Lite® pour Macintosh®, version 6.5.1. (avril 2015), après avoir été téléchargées du serveur du CHU de Toulouse avec accord des chefs de service de radiologie sur dispositif de stockage informatique amovible.

Toutes les mesures ont été réalisées par deux observateurs différents. Ces examinateurs sont qualifiés en chirurgie maxillo-faciale (dernière année d'internat de CMF) et connaissent bien le logiciel Osirix®.

Le recalage dans le plan de Francfort, le recentrage et le niveau de coupe sont sélectionnés par un tiers examinateur tout aussi expérimenté, pour éviter les biais de recalage et de niveau de coupe sujets aux variations interobservateur à cause de la sensibilité du logiciel.

La coupe la plus proche du foramen infraorbitaire (au maximum à 5 mm de part et d'autre dans le sens crânio-caudal) et visualisant la totalité du complexe zygomatique (corps et arcade de l'os zygomatique) est choisie. La coupe axiale unique recalée était enregistrée et donnée aux 2 lecteurs.

S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  étaient mises en évidence à droite et à gauche soit de part et d'autre de l'axe central, sur la coupe, par les 2 observateurs. Elles ont été arrondies au millimètre près et au degré près. Des comparaisons ont ensuite été faites pour prouver la fiabilité et la reproductibilité des mesures mais aussi confirmer la symétrie du massif facial.

## B. Résultats

8 femmes et 22 hommes avec une TDM du massif facial ont été inclus. Ils étaient âgés de 18 à 65 ans, avec une moyenne d'âge de 42,6 ans (écart-type=15,2 ; médiane = 42 ans)

		moyenne	écart-type	médiane	min	max
<b>Lecteur 1</b>	<b>droite</b>					
	S	7.9	0.4	7.8	7.0	8.6
	$\alpha S$	33.7	2.9	34.0	27.0	41.0
	$\alpha Z$	141.1	4.7	142.0	129.0	154.0
	<b>gauche</b>					
	S	7.9	0.4	7.8	7.0	8.6
	$\alpha S$	33.8	3.0	33.5	26.0	41.0
	$\alpha Z$	140.7	3.8	142.0	129.0	146.0
<b>Lecteur 2</b>	<b>droite</b>					
	S	7.9	0.4	7.8	7.0	8.6
	$\alpha S$	33.7	2.5	34.0	29.0	40.0
	$\alpha Z$	141.0	4.6	142.0	129.0	154.0
	<b>gauche</b>					
	S	7.8	0.4	7.9	7.0	8.5
	$\alpha S$	33.6	2.6	33.0	29.0	40.0
	$\alpha Z$	140.7	3.9	142.0	129.0	146.0

**Tableau 10.** Résultats de S,  $\alpha S$ ,  $\alpha Z$  bilatéraux et par les 2 lecteurs

**Etude de la fiabilité et de la reproductibilité de S,  $\alpha S$ ,  $\alpha Z$**

		<b>Lecteur 2</b>		
		<b>droite</b>		
<b>Lecteur 1</b>	<b>droite</b>	S	$\alpha S$	$\alpha Z$
	S	0.0866		
	$\alpha S$		0.6895	
	$\alpha Z$			0.5271
		<b>Lecteur 2</b>		
		<b>gauche</b>		
<b>Lecteur 1</b>	<b>gauche</b>	S	$\alpha S$	$\alpha Z$
	S	0.4899		
	$\alpha S$		0.5003	
	$\alpha Z$			1.0000

**Tableau 11.** Comparaison entre les deux lecteurs pour un même côté

Quelle que soit la variable S,  $\alpha S$ ,  $\alpha Z$ , **il n'y a pas de différence significative entre les mesures du lecteur 1 et du lecteur 2 pour un même côté ( $p > 0,05$ )** (Test de Wilcoxon).



- S

Il s'agit ici d'analyser (analyse de variance) la mesure S sur un côté et répétée sur un lecteur. Les différents niveaux de mesures sont présentés de la façon suivante :

- Un premier niveau de mesure (Lecteur 1/Lecteur 2)
- Un deuxième niveau de mesure (Droite/Gauche)
- Les sujets répartis dans ces 2 groupes

	Number of obs =	120	R-squared =	0.9910																																																										
	Root MSE =	.05766	Adj R-squared =	0.9816																																																										
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%; text-align: left;">Source</th> <th style="width: 15%;">Partial SS</th> <th style="width: 10%;">df</th> <th style="width: 15%;">MS</th> <th style="width: 15%;">F</th> <th style="width: 25%;">Prob &gt; F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Between subjects:</td> <td>.014083348</td> <td>1</td> <td>.014083348</td> <td>0.04</td> <td>0.8452</td> </tr> <tr> <td>    side</td> <td>.014083348</td> <td>1</td> <td>.014083348</td> <td>0.04</td> <td>0.8452</td> </tr> <tr> <td>    id*side</td> <td>21.2308354</td> <td>58</td> <td>.366048887</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Within subjects:</td> <td>.012166696</td> <td>2</td> <td>.006083348</td> <td>1.83</td> <td>0.1696</td> </tr> <tr> <td>    lecteur</td> <td>.010083367</td> <td>1</td> <td>.010083367</td> <td>3.03</td> <td>0.0869</td> </tr> <tr> <td>    lecteur*side</td> <td>.002083329</td> <td>1</td> <td>.002083329</td> <td>0.63</td> <td>0.4318</td> </tr> <tr> <td>    Residual</td> <td>.192833485</td> <td>58</td> <td>.003324715</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: right;">Total</td> <td style="width: 15%;">21.449919</td> <td style="width: 10%;">119</td> <td style="width: 15%;">.18025142</td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table> </td> </tr> </tbody> </table>					Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F	Between subjects:	.014083348	1	.014083348	0.04	0.8452	side	.014083348	1	.014083348	0.04	0.8452	id*side	21.2308354	58	.366048887			Within subjects:	.012166696	2	.006083348	1.83	0.1696	lecteur	.010083367	1	.010083367	3.03	0.0869	lecteur*side	.002083329	1	.002083329	0.63	0.4318	Residual	.192833485	58	.003324715			<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: right;">Total</td> <td style="width: 15%;">21.449919</td> <td style="width: 10%;">119</td> <td style="width: 15%;">.18025142</td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>					Total	21.449919	119	.18025142	
Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F																																																									
Between subjects:	.014083348	1	.014083348	0.04	0.8452																																																									
side	.014083348	1	.014083348	0.04	0.8452																																																									
id*side	21.2308354	58	.366048887																																																											
Within subjects:	.012166696	2	.006083348	1.83	0.1696																																																									
lecteur	.010083367	1	.010083367	3.03	0.0869																																																									
lecteur*side	.002083329	1	.002083329	0.63	0.4318																																																									
Residual	.192833485	58	.003324715																																																											
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: right;">Total</td> <td style="width: 15%;">21.449919</td> <td style="width: 10%;">119</td> <td style="width: 15%;">.18025142</td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> </table>					Total	21.449919	119	.18025142																																																						
Total	21.449919	119	.18025142																																																											

Le tableau décompose la variance totale des mesures de S en variance expliquée par les variables introduites side et lecteur (Model SS=21.45) et une variance résiduelle (Residual SS=0.19). Dans la dernière colonne, les seuils indiquent tous une non significativité des variables introduites (Prob F supérieure à 0.05). A la ligne side, le test nous conduit à conserver l'hypothèse nulle d'égalité des variances de S entre les côtés droit et gauche (Prob F=0.8452). Il en est de même pour ce qui concerne les lecteurs (Prob F=0.0869). Il convient de constater que la part de variance expliquée par le modèle sur la variance totale ((21.26/21.45)x100=99%) donne un coefficient de détermination (R-squared ou R<sup>2</sup>) de 0.99. Plus ce R<sup>2</sup> est proche de 1, plus les variables introduites expliquent les variations de S.

**Tableau 12.** Etude de S en fonction du côté et du lecteur

Les mesures répétées de S entre le lecteur 1 et 2 ne sont pas significativement différentes selon les lecteurs et selon le côté mesuré (p>0,05). **Il n'y a pas de différence interobservateur significative, p=0,8452.**

**La mesure S est fiable et reproductible.**

- αS

La mesure αS est analysée selon les mêmes modalités (analyse de variance)

	Number of obs =	120	R-squared =	0.9352
	Root MSE =	.997266	Adj R-squared =	0.8670

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
-----					
Between subjects:	.008333333	1	.008333333	0.00	0.9808
side	.008333333	1	.008333333	0.00	0.9808
id*side	831.416667	58	14.3347701		
Within subjects:	.816666667	2	.408333333	0.41	0.6652
lecteur	.408333333	1	.408333333	0.41	0.5242
lecteur*side	.408333333	1	.408333333	0.41	0.5242
Residual	57.6833333	58	.99454023		
-----					
Total	889.925	119	7.47836134		

**Tableau 13. Etude de  $\alpha S$  en fonction du côté et du lecteur**

Les mesures répétées d' $\alpha S$  ne sont pas significativement différentes selon les lecteurs et le côté mesuré ( $p > 0,005$ ). **Il n'y a pas de différence inter-observateur significative  $p = 0,9808$ .**

**La mesure  $\alpha S$  est fiable et reproductible.**

- $\alpha Z$

	Number of obs =	120	R-squared =	0.9958
	Root MSE =	.392458	Adj R-squared =	0.9913

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
-----					
Between subjects:	4.03333333	1	4.03333333	0.11	0.7395
side	4.03333333	1	4.03333333	0.11	0.7395
id*side	2096.26667	58	36.1425287		
Within subjects:	.066666667	2	.033333333	0.22	0.8060
lecteur	.033333333	1	.033333333	0.22	0.6435
lecteur*side	.033333333	1	.033333333	0.22	0.6435
Residual	8.93333333	58	.154022989		
-----					
Total	2109.3	119	17.7252101		

Les mesures répétées de  $\alpha Z$  entre le lecteur 1 et 2 ne sont pas significativement différentes selon les lecteurs et selon le côté mesuré ( $p > 0,05$ ). **Il n'y a pas de différence interobservateur significative,  $p = 0,7395$ .**

**La mesure  $\alpha Z$  est fiable et reproductible.**

## Etude de la symétrie des os zygomatiques

L'analyse statistique est faite par le Test de Wilcoxon pour les 2 lecteurs et consiste à comparer les mesures du côté droit et du côté gauche.

		gauche		
Lecteur 1	droite	S	$\alpha S$	$\alpha Z$
	S	0.0675		
	$\alpha S$		0.7180	
	$\alpha Z$			0.3946
		gauche		
Lecteur 2	droite	S	$\alpha S$	$\alpha Z$
	S	0.4453		
	$\alpha S$		0.3189	
	$\alpha Z$			0.6550

**Tableau 14.** Etude de la symétrie de l'os zygomatique

Quelle que soit la variable, **il n'y a pas de différence significative entre la mesure droite et gauche pour un même lecteur ( $p > 0,05$ )** (Test de Wilcoxon).

**Les mesures S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  confirment bien la symétrie du massif facial et sont de ce fait, identiques de part et d'autre.**

### C. Discussion

Le massif facial est symétrique, à 2,5mm près.(132) Nos résultats confirment bien ce postulat de départ. Nos mesures, S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  sont équivalentes de part et d'autre du massif facial pour les 2 lecteurs.

S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  sont fiables et reproductibles : les 2 lecteurs ont obtenu les mêmes mesures quantitatives, et ce de manière symétrique comme le montraient Gong et al.(134)

Néanmoins, un référentiel en 2 dimensions peut induire des erreurs interobservateur comme ils le rappelaient, par difficulté à placer les points repères. Pour mémoire, en raison des modalités d'acquisition de TDM différentes, nous n'avons pas pu travailler dans un référentiel en 3D.

Nous avons limité les biais de repérage des points repères initiaux de recalage, de recentrage et de niveau de coupe par un tiers observateur : ce référentiel 2D été ainsi mis en place par une unique personne.

Furst et al.(133) avaient aussi insisté sur la difficulté de situer les points repères sur les coupes axiales. Nous avons minimisé un premier risque d'erreurs en faisant intervenir une tierce personne : nous n'avions alors qu'un niveau d'erreur possible pour les deux autres lecteurs à qui il ne restait plus qu'à placer les points repères.

L'imagerie que nous acquerrons ultérieurement dans nos applications chirurgicales, le sera très probablement sur un même appareil avec un patient placé tête droite, au mieux dans le plan de Francfort au sein du dispositif : le tierce examinateur ne sera plus légitime. En revanche, il restera toujours le niveau d'erreur dans la mise en place des points repères.

Concernant la bonne corrélation entre les observateurs et la confirmation de la symétrie du massif facial dans notre étude, il semble que nos points repères soient facilement objectivables grâce à nos consignes et au logiciel Osirix®.

## 2. Ostéométrie tomographique de l'os zygomatique fracturé

### A. Matériel et Méthode

28 patients atteints d'une fracture unilatérale de l'os zygomatique ont été inclus. Ils avaient tous bénéficié d'une imagerie pré-opératoire et post opératoire tomographique de type MSCT ou CBCT sur des structures hospitalières variables (appareils différents). En revanche, tous les examens étaient chargés sur le serveur du CHU de Toulouse puis importés avec l'accord des chefs de service de radiologie. A noter que tous les CBCT ont été acquis dans le service de chirurgie maxillo-faciale du CHU de Toulouse sur le même appareil, mais par des personnes et selon des modalités différentes.

La comparabilité de la population de l'échantillon pathologique avec l'échantillon sain a été validée.

Une étude des caractéristiques de la cohorte de patients fracturés a été menée à l'instar de notre étude épidémiologique sur notre cohorte toulousaine de patients opérés de fracture du complexe zygomatique, paragraphe I.1 du chapitre III.

Dans une première étape, toutes les imageries ont été recalées dans le plan de Francfort et recentrées grâce au logiciel OSIRIX Lite® pour Macintosh®, version 6.5.1. gratuite (avril 2015), après avoir été téléchargées du serveur du CHU de Toulouse sur dispositif de stockage informatique amovible.

Les mesures ostéométriques S,  $\alpha S$ ,  $\alpha Z$  ont été réalisées selon les modalités éditées dans le paragraphe IV.1.B. du chapitre II.

Les examens étaient recalés par un unique observateur expérimenté en chirurgie maxillo-faciale, idem pour le choix de la coupe et la mise en place de l'axe vertical sur la coupe axiale passant par le milieu du clivus.

Les calculs de S,  $\alpha S$ ,  $\alpha Z$  étaient effectués sur les tomographies pré-opératoires uniquement du côté sain car le zygoma fracturé, parfois très comminutif empêche de situer franchement nos différentes mesures. Ils étaient effectués sur l'imagerie post opératoire de façon bilatérale.

27 TDM et 1 CB pré-opératoires étaient à disposition, puis 6 TDM et 22 CB post-opératoires. Les côtés sains sur TDM ont été comparés avec leurs homologues sur CB pour montrer l'équivalence de mesure de S,  $\alpha S$ , et  $\alpha Z$  entre les deux types de tomographies. Nous n'avons pas pu mettre en évidence la symétrie du massif facial sur CB et son équivalence avec la TDM en matière de symétrie car très peu de Cone Beam normaux étaient à notre disposition.

Nous avons évalué la qualité de la réduction fracturaire à travers l'hypothèse que S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  devaient être rétablis de manière symétrique au côté sain.

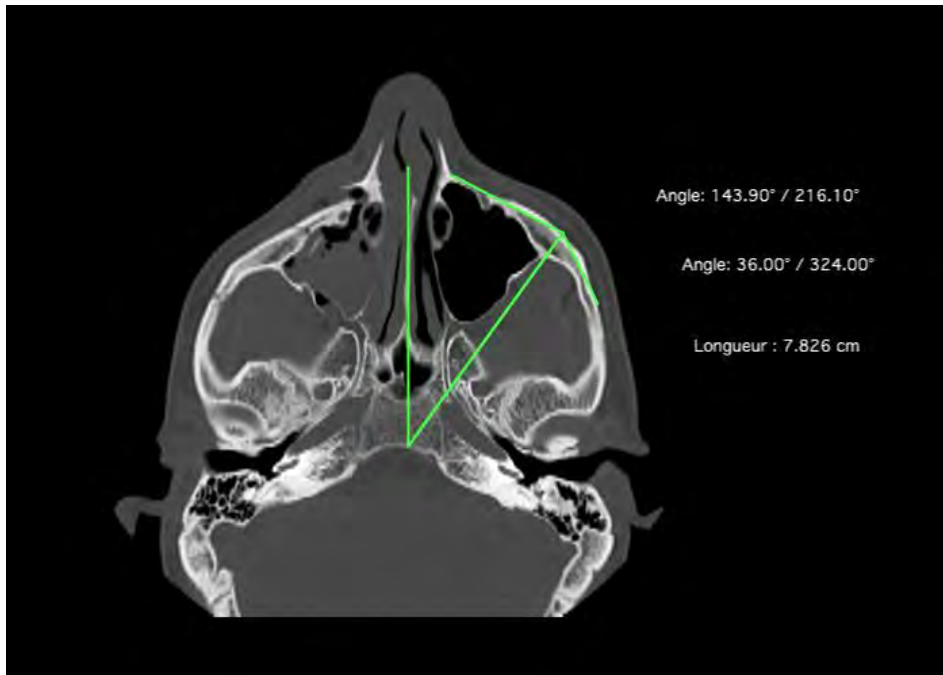
Dans une deuxième étape, un mirroring du côté sain sur le côté pathologique a été effectué sur toutes les imageries post-opératoires qu'elles soient MSCT ou CBCT. Ce mirroring est obtenu grâce au logiciel iplannet CMF®, Brainlab®, dont le service de chirurgie maxillo-faciale du CHU de Toulouse a la licence d'exploitation. Les séries tomographiques et les Cone Beam ont été téléchargés au CHU de Toulouse puis transférés dans ce logiciel.

Ce procédé fait office de Gold Standard quant à la qualité de la réduction avec ou sans ostéosynthèse. Était jugée « réduction symétrique au côté sain », une superposition confondue de l'os zygomatique sain en miroir sur l'os fracturé (surtout au niveau de l'éminence zygomatique) répondant donc à une loi du « tout ou rien ».

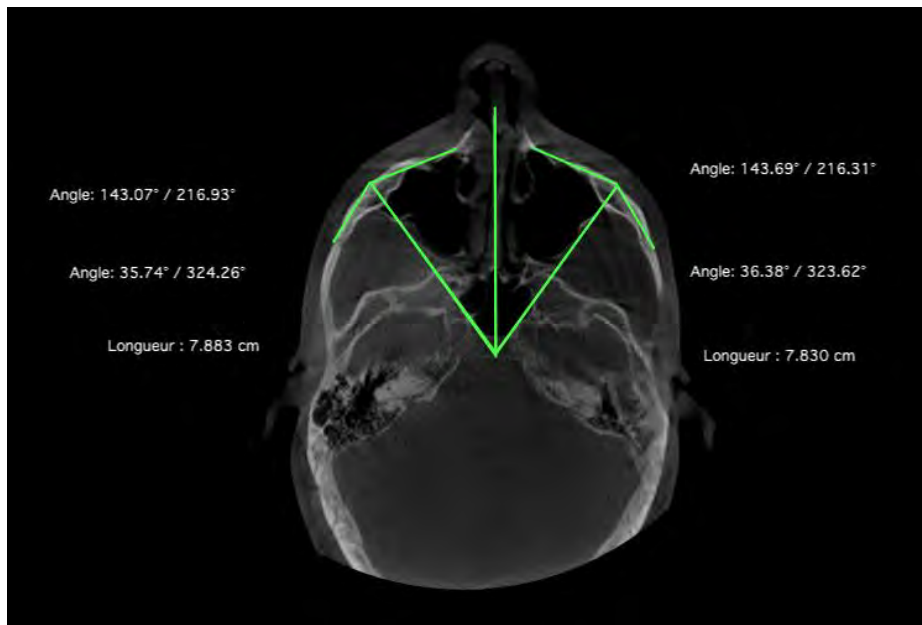
#### **Exemple de repérage de S, $\alpha S$ et $\alpha Z$ sur les tomographies per et post-opératoires.**

- **Cas symétrique**

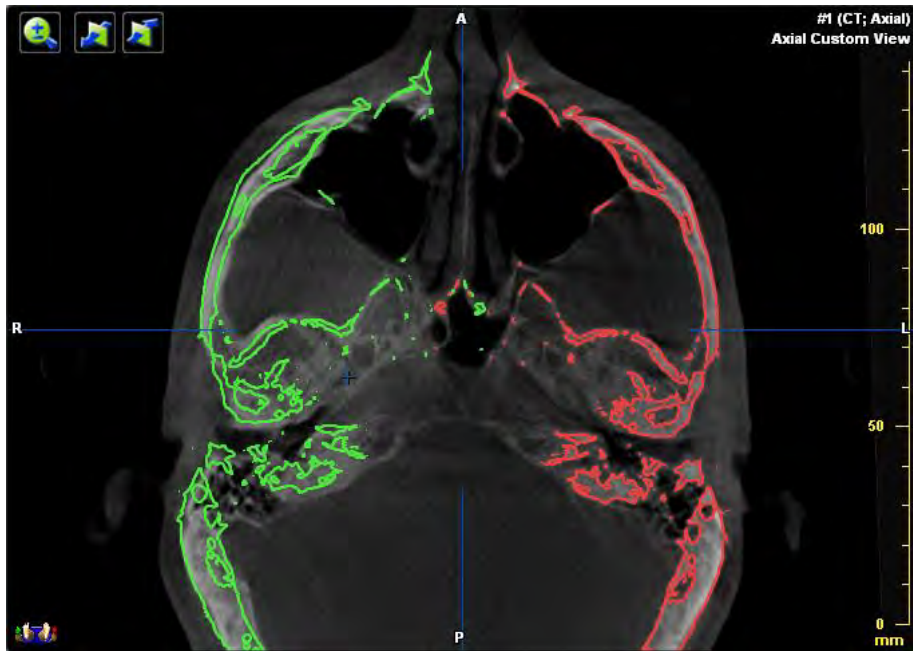
**Fracture droite de type B de la classification de Zingg et de type 4 de Knight, réduite par méthode indirect endobuccale de Keen. Pas d'ostéosynthèse mise en place.**



**A.** Coupe axiale tomodensitométrique pré-opératoire ; S,  $\alpha$ S,  $\alpha$ Z sont étudiés sur le côté sain.



**B.** Coupe axiale tomographique sur Cone Beam post-opératoire ; S,  $\alpha$ S,  $\alpha$ Z sont étudiés de manière bilatérale.



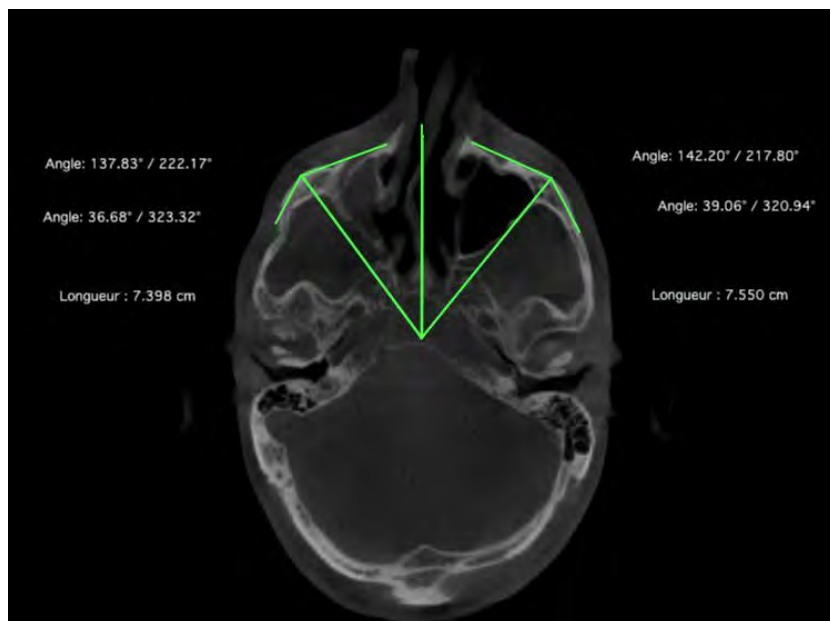
C. Mirroring du massif facial sain (rouge) sur le massif facial fracturé (os apparaissant dans le plan arrière et mirroring apparaissant en vert, au dessus) sur le Cone Beam post opératoire. Selon la loi du « tout ou rien », l'os zygomatique sain est superposable à l'os zygomatique réparé.

- **Cas asymétrique**

**Fracture droite de type A1 de la Classification de Zingg et de type 2 de Knight réduite par méthode indirecte au crochet percutané. Pas d'ostéosynthèse mise en place.**

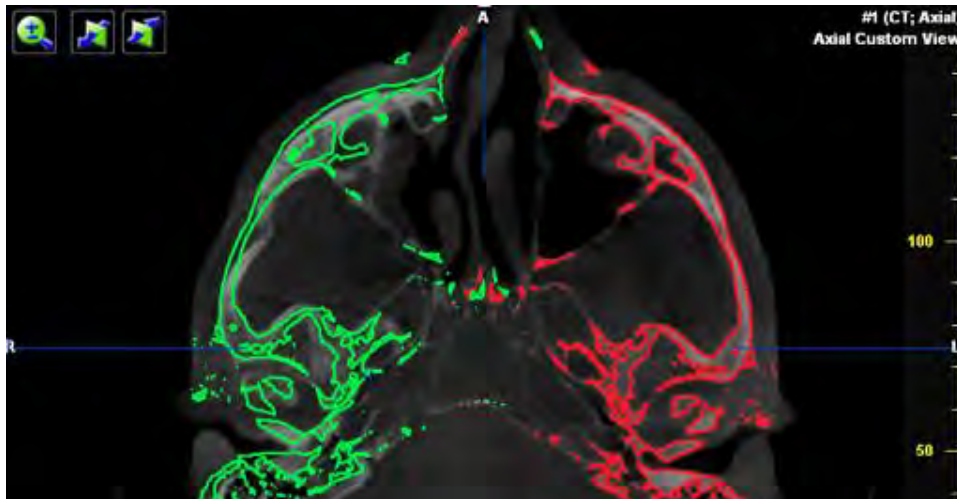


**A.** Coupe axiale tomodensitométrique pré-opératoire ; S,  $\alpha$ S,  $\alpha$ Z sont étudiés sur le côté sain.



**B.** Coupe axiale tomographique sur Cone Beam post-opératoire ; S,  $\alpha$ S,  $\alpha$ Z sont étudiés de manière bilatérale.





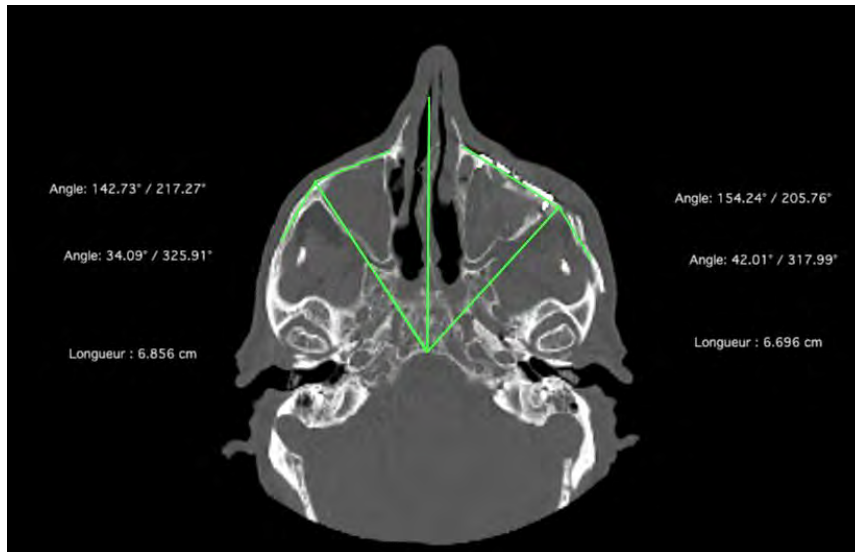
**C.** Mirroring du massif facial sain (rouge) sur le massif facial fracturé (os apparaissant dans le plan arrière et mirroring apparaissant en vert, au dessus) sur le Cone Beam post opératoire. Selon la loi du « tout ou rien », l'os zygomatique sain n'est pas superposable à l'os zygomatique réparé.

- **Cas asymétrique avec ostéosynthèse**

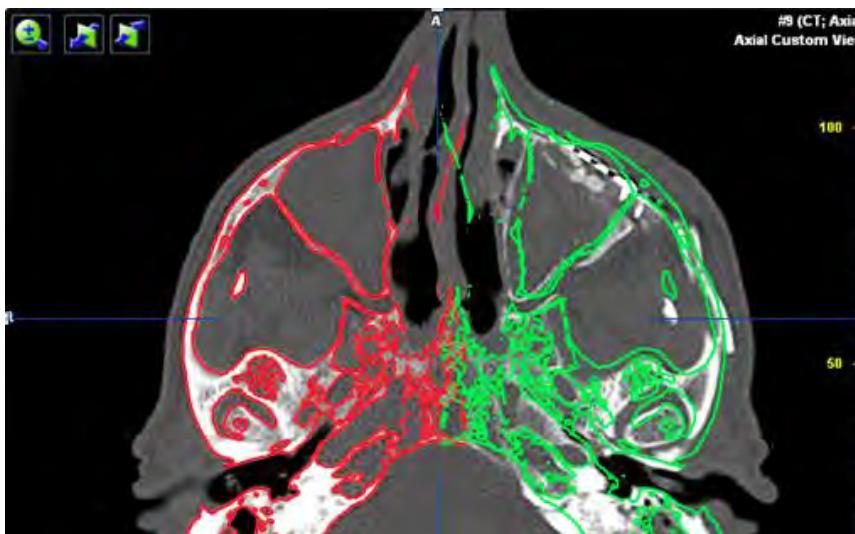
**Fracture gauche de type B de la classification de Zingg et de type 4 de Knight. Deux voies d'abord : transconjonctivale et vestibulaire. Deux ostéosynthèses : cintre zygomaxillaire et rebord infraorbitaire associée à une réfection du plancher de l'orbite.**



**A.** Coupe axiale tomodensitométrique pré-opératoire ; S, αS, αZ sont étudiés sur le côté sain.



**B.** Coupe axiale tomodensitométrique post-opératoire ; S,  $\alpha$ S,  $\alpha$ Z sont étudiés de manière bilatérale.



**C.** Mirroring du massif facial sain (rouge) sur le massif facial fracturé (os apparaissant dans le plan arrière et mirroring apparaissant en vert, au dessus) sur le Cone Beam post opératoire. Selon la loi du « tout ou rien », l'os zygomatique sain n'est pas superposable à l'os zygomatique réparé.

## B. Résultats

Cette étude statistique est une étude en sous-groupe de la cohorte initiale de 96 patients ayant présenté une fracture de l'os zygomatique ces deux dernières années dans le service de chirurgie maxillo-faciale du CHU de Toulouse. Elle a toujours une bonne cohérence externe.

## Caractéristiques de l'échantillon pathologique

### Sexe

7 femmes (25%) et 21 hommes (75%) ont été inclus. Le sex ratio est de 3.

### Age

Age					
N	Moyenne	Ecart type	Médiane	Minimum	Maximum
28	36,39	14,138	36,00	16	74

**Tableau 15. Etude de l'age**

### Etiologie des fractures

Etiologie	Fréquence	Pourcentage
Accident domestique	5	17,9
Accident professionnel	1	3,6
AVP	7	25,0
Malaise	1	3,6
Rixe	11	39,3
Sport	3	10,7
Total	28	100,0

**Tableau 16. Etude de l'étiologie des fractures**

### Caractéristiques des fractures

#### Côté fracturé

Il y avait 9 fractures droites (32,1%) pour 19 fractures gauches (67,9%).

## Classification des fractures

Classification de Zingg		
	Fréquence	Pourcentage
A1	5	17,9
A3	2	7,1
B	19	67,9
C	2	7,1
Total	28	100,0
Classification de Knight		
2	5	17,9
3	8	28,6
4	10	35,7
5	3	10,7
6	2	7,1
Total	28	100,0

**Tableau 17.** Classification des fractures selon Zingg et selon Knight

## Voies d'abord

Voie d'abord	Fréquence	Pourcentage
CP	6	21,4
G	1	3,6
K	1	3,6
SC.SO	2	7,1
SC.SO.V	4	14,3
SC.V	3	10,7
SO	1	3,6
TC	1	3,6
TC.SO	1	3,6
TC.SO.V	2	7,1
TC.V	4	14,3
V	2	7,1
Total	28	100,0

**Tableau 18.** Etude des voies d'abord et de leur combinaison

## Site d'ostéosynthèse

Site d'ostéosynthèse	Fréquence	Pourcentage
Néant	9	32,1
IO	2	7,1
IO.ZF	2	7,1
IO.ZF.ZM	4	14,3
IO.ZM	6	21,4
ZF	1	3,6
ZF.ZM	1	3,6
ZM	3	10,7
Total	28	100,0

**Tableau 19.** Etude des sites d'ostéosynthèse et leur combinaison

## Réfection du plancher de l'orbite

Réfection PO	Fréquence	Pourcentage
Rien	19	67,9
PO	9	32,1
Total	28	100,0

**Tableau 20.** Etude de la réfection du plancher de l'orbite

## Etude des voies d'abord et des sites d'ostéosynthèse

Tableau croisé d'abord * d'ostéosynthèse		Voie Site	Site ostéosynthèse							Total	
			Néant	IO	IO.ZF	IO.ZF.ZM	IO.ZM	ZF	ZF.ZM		ZM
Voie d'abord	CP	Effectif	6	0	0	0	0	0	0	0	6
		% dans Voie d'abord	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	G	Effectif	1	0	0	0	0	0	0	0	1
		% dans Voie d'abord	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	K	Effectif	1	0	0	0	0	0	0	0	1
		% dans Voie d'abord	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	SC.SO	Effectif	0	0	2	0	0	0	0	0	2
		% dans Voie d'abord	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	SC.SO.V	Effectif	0	0	0	4/2 PO	0	0	0	0	4
		% dans Voie d'abord	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	SC.V	Effectif	0	0	0	0	3	0	0	0	3
		% dans Voie d'abord	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	SO	Effectif	0	0	0	0	0	1	0	0	1
		% dans Voie	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%

		d'abord									
TC	Effectif	0	<b>1/PO</b>	0	0	0	0	0	0	0	1
	% dans Voie d'abord	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
TC.SO	Effectif	0	<b>1/PO</b>	0	0	0	0	0	0	0	1
	% dans Voie d'abord	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
TC.SO.V	Effectif	<b>1/PO</b>	0	0	0	0	0	<b>1/PO</b>	0	2	
	% dans Voie d'abord	50,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	50,00%	0,00%	100,00%	
TC.V	Effectif	0	0	0	0	<b>3/2 PO</b>	0	0	<b>1/PO</b>	4	
	% dans Voie d'abord	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	75,00%	0,00%	0,00%	25,00%	100,00%	
V	Effectif	0	0	0	0	0	0	0	<b>2</b>	2	
	% dans Voie d'abord	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	
Total	Effectif	9	2	2	4	6	1	1	3	28	
	% dans Voie d'abord	32,10%	7,10%	7,10%	14,30%	21,40%	3,60%	3,60%	10,70%	100,00%	

En rouge gras, figurent les cas où les voies d'abord sont en surnombre par rapport aux sites ostéosynthésés.

**Tableau 21. Ostéosynthèse en fonction des voies d'abord et de leur combinaison**

Dans la plupart des cas, les voies d'abord réalisées sont complétées par une ostéosynthèse en regard.

Il existe tout de même 2 cas dans notre échantillon pathologique, où les voies d'abord sont en surnombre par rapport aux sites ostéosynthèses. En particulier, un cas où 3 incisions suivies de 3 dissections n'ont été complétées que d'une simple réfection d'une plancher de l'orbite ; idem pour un cas avec 2 voies d'abord initiales.

### **Etude des sites d'ostéosynthèse en fonction des classifications des fractures**

Il s'agit ici d'évaluer en fonction du type de fractures et du déplacement de celles-ci, les ostéosynthèses les plus fréquemment mises en place.

<b>Zingg</b>	ZM	IO	FZ
A1 (5)	0	0	0
A3 (2)	2	1	0
B (19)	11	12	7
C (2)	1	1	1
Total	14	14	8

() Nombre de fractures classées dans la catégorie

**Tableau 22. Etude des sites d'ostéosynthèse en fonction de la classification de Zingg**

<b>Knight</b>	ZM	IO	FZ
2 (5)	0	0	0
3 (8)	4	4	1
4 (10)	8	7	4
5 (3)	1	2	2
6 (2)	1	1	1
Total	14	14	8

() Nombre de fractures classées dans la catégorie

**Tableau 23. Etude des sites d'ostéosynthèse en fonction de la classification de Knight et North**

Le type A1 de Zingg peut être apparentée au type 2 de Knight : aucune ostéosynthèse n'a été faite dans ces cas.

Le type A3 de Zingg a nécessité une ostéosynthèse du cintre zygomaxillaire dans tous les cas et de la margelle infra-orbitaire dans un cas.

Le type B de Zingg nécessite dans plus de la moitié des cas une ostéosynthèse du cintre et du rebord infra-orbitaire, et en dernier lieu de la suture zygomaxillaire-frontale. Concernant les fractures tétrapodes classées en type 3, 4 et 5 de Knight, elles nécessitent



elle aussi en majorité une synthèse de la console et du rebord infraorbitaire. Il semble que ce soit les fractures tétrapodes avec rotation latérale qui requièrent proportionnellement le plus souvent (2 sur 3) une synthèse de la suture fronto-zygomatique. Les fractures sans rotation sont peu synthésées au niveau de cette suture.

Le type C de Zingg peut être assimilé au type 6 de Knight et nécessite souvent une ostéosynthèse au niveau des 3 sites.

### Comparabilité de l'échantillon pathologique avec l'échantillon sain

Il s'agit de savoir si la population des patients ayant une TDM normale est comparable à celle ayant des tomographies pathologiques. Nous ne disposons que de 2 caractéristiques communes : l'âge et le sexe. Nous comparerons ces 2 populations pour ces 2 paramètres.

#### Age

Age						
Groupe	N	Moyenne	Ecart type	Médiane	Minimum	Maximum
Normaux	30	42,57	15,151	42,00	18	65
Pathologique	28	36,39	14,138	36,00	16	74
Total	58	39,59	14,871	40,50	16	74

**Tableau 24. Etude de la comparabilité pour l'âge entre l'échantillon normal et l'échantillon pathologique**

Le test T d'égalité des moyennes d'âge rapporte **qu'il n'y a pas de différence significative de l'âge entre les patients du groupe TDM normaux et ceux du groupe TDM pathologiques (p=0,115).**

**Les groupes sont comparables sur le critère de l'âge.**

## Sexe

Tableau croisé Sexe * Groupe					
			Groupe		Total
			Normaux	Pathologiques	
Sexe	F	Effectif	8	7	15
		% dans Sexe	53,3	46,7	100,0
		% dans Groupe	26,7	25,0	25,9
		% du total	13,8	12,1	25,9
	H	Effectif	22	21	43
		% dans Sexe	51,2	48,8	100
		% dans Groupe	73,3	75,0	74,1
		% du total	37,9	36,2	74,1
Total	Effectif	30	28	58	
	% dans Sexe	51,7	48,3	100,0	
	% dans Groupe	100,0	100,0	100,0	
	% du total	51,7	48,3	100,0	

**Tableau 25.** Etude de la comparabilité pour le sexe entre l'échantillon normal et l'échantillon pathologique

Le test du Chi-deux (Chi-Deux de Pearson) rapporte qu'il n'y a pas de différence significative de sexe entre les 2 groupes ( $p=0,885$ ).

**Les groupes sont comparables sur le critère du sexe.**

### Comparaison des côtés sains sur MSCT et CBCT

Une étude statistique croisée a été réalisée sur les techniques d'imagerie pré-opératoires et post-opératoires : les effectifs des couples MSCT pré-opératoire/MSCT post-opératoires, MSCT pré-opératoire/CBCT post-opératoires et CBCT pré-opératoire/CBCT post-opératoire ont été analysés.

Une étude par paired-T Test a été faite spécifiquement sur le couple TDM pré-opératoire et CBCT post-opératoires du côté sain pour objectiver l'équivalence de ces 2 types de tomographies.

		TDM pré-opérateur		
Côté sain	CB post-opérateur	S	$\alpha$ S	$\alpha$ Z
	S	0.2669		
	$\alpha$ S		1.000	
	$\alpha$ Z			1.000

**Tableau 26.** Comparaison entre S,  $\alpha$ S,  $\alpha$ Z entre TDM et CB du côté sain

Les mesures pré-opératoires tomographiques du côté sain **ne sont pas statistiquement différentes de celle du côté sain en post-opérateur sur Cone-Beam ( $p>0,05$ ).**

**Les mesures obtenues sur TDM et CB (côté sain) sont identiques. Les deux examens d'imagerie sont donc équivalents et l'obtention des mesures S,  $\alpha$ S,  $\alpha$ Z ne diffèrent pas de l'un à l'autre.**

**Statistiques descriptives de S,  $\alpha$ S et  $\alpha$ Z en pré et post-opérateur**

		moyenne	écart-type	médiane	min	max
Côté sain	<b>Pré-opérateur</b>					
	S	7.8	0.5	7.8	6.9	9.0
	$\alpha$ S	34.7	2.6	34.0	30.0	39.0
	$\alpha$ Z	142.2	2.9	142.0	137.0	149.0
	<b>Post-opérateur</b>					
	S	7.8	0.5	7.8	6.9	9.0
	$\alpha$ S	34.7	2.6	34.0	30.0	39.0
	$\alpha$ Z	142.2	2.9	142.0	137.0	149.0
Côté pathologique	<b>Post-opérateur</b>					
	S	7.7	0.5	7.8	6.7	9.0
	$\alpha$ S	34.8	3.1	35.0	26.0	42.0
	$\alpha$ Z	143.2	5.2	143.0	134.0	154.0

**Tableau 27.** Résultats de S,  $\alpha$ S,  $\alpha$ Z bilatéraux en pré et post-opérateur

❖ Remarque :

- Nous avons choisi de négliger S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  en pré-opérateur du côté fracturé car le positionnement des points repères est très difficile en particulier en cas de comminution du sommet et de fort déplacement des fragments.
- Les 3 mesures pré-opératoires du côté sain sont en moyenne assez proches des mesures réalisées sur TDM normales : moins d'1mm de différence pour S, environ 1° de différence pour  $\alpha S$  et  $\alpha Z$ .

		moyenne
<b>Lecteur 1</b>	<b>droite</b>	
	S	7.9
	$\alpha S$	33.7
	$\alpha Z$	141.1
	<b>gauche</b>	
	S	7.9
	$\alpha S$	33.8
	$\alpha Z$	140.7
<b>Lecteur 2</b>	<b>droite</b>	
	S	7.9
	$\alpha S$	33.7
	$\alpha Z$	141.0
	<b>gauche</b>	
	S	7.8
	$\alpha S$	33.6
	$\alpha Z$	140.7

**Tableau 28.** Rappels des résultats de S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  sur l'échantillon normal en double lecture.

Dans un premier temps, on réalise une comparaison par paired T-Test de toutes les mesures entre côté sain et côté fracturé.

		côté pathologique		
Post-opérateur	côté sain	S	$\alpha S$	$\alpha Z$
	S	<b>0.0111</b>		
	$\alpha S$		0.8835	
	$\alpha Z$			0.3057
		Pré-opérateur		
Côté sain	Post-opérateur	S	$\alpha S$	$\alpha Z$
	S	0.0961		
	$\alpha S$		1.000	
	$\alpha Z$			0.3262

**Tableau 29.** Comparaison de S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  en pré-opérateur et post-opérateur

Comme prévu, il n'y a pas de différence entre les mesures pré-opératoires et post-opératoires du côté sain. **Concernant la réparation, seule la mesure S est statistiquement différente,  $p=0,0111$ .**

La mauvaise symétrie serait essentiellement due à cette différence de mesure sur S, car les angles  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  sont statistiquement identiques côté sain versus pathologique opéré.

**Seule S, distance au sommet est différente après réparation par rapport au côté sain.**

En parallèle, nous avons réalisé une analyse en sous-groupe concernant les groupes symétriques et asymétriques sur le mirroring. Le mirroring informatique constitue le Gold standard de qualité de réduction.

- **Résultats du mirroring**

Mirroring sur i plannet	Fréquence	Pourcentage
Assymétrique	19	67,9
Symétrique	9	32,1
Total	28	100,0

**Tableau 30.** Résultats du mirroring sur l'échantillon pathologique en post-opérateur

19 patients sur 28 (environ 68%) sont considérés comme mal réduits par le logiciel.

- Etude de S,  $\alpha$ S,  $\alpha$ Z dans le groupe dit « superposable » n=9

L'analyse est réalisée par paired T-Test.

		côté pathologique		
Post-opératoire	côté sain	S	$\alpha$ S	$\alpha$ Z
	S	<b>0.2815</b>		
	$\alpha$ S		0.4468	
	$\alpha$ Z			0.1690
		préop.		
Côté sain	postop.	S	$\alpha$ S	$\alpha$ Z
	S	0.1950		
	$\alpha$ S		1.000	
	$\alpha$ Z			1.000

**Tableau 31.** Comparaison de S,  $\alpha$ S,  $\alpha$ Z par rapport au côté sain dans l'échantillon pathologique symétrique en post-opératoire

L'analyse des mesures des patients dont les mirroring du côté sain sur le côté réparé sont superposables montre des mesures statistiquement identiques en post-opératoire côté sain versus côté pathologique, confirmant la qualité de la réduction.

**Dans le groupe d'os zygomatiques considérés comme symétriques, les 3 mesures sont statistiquement identiques des 2 côtés confirmant la qualité de la réduction.**

- Etude de S,  $\alpha$ S,  $\alpha$ Z dans le groupe dit « non superposable » n=19

		côté pathologique		
<b>Post-opératoire</b>	<b>côté sain</b>	S	$\alpha S$	$\alpha Z$
	S	<b>0.0216</b>		
	$\alpha S$		0.9613	
	$\alpha Z$			0.2736
		Pré-opératoire		
<b>Côté sain</b>	<b>Post-opératoire</b>	S	$\alpha S$	$\alpha Z$
	S	0.3306		
	$\alpha S$		1.000	
	$\alpha Z$			0.3306

**Tableau 32. Comparaison de S,  $\alpha S$ ,  $\alpha Z$  par rapport au côté sain dans l'échantillon pathologique asymétrique en post-opératoire**

L'analyse des mesures des patients considérés comme asymétriques après l'intervention montrent des résultats identiques à ceux de l'échantillon total, confirmant l'implication de la mesure S dans l'asymétrie  $p= 0,0216$ .

**Les asymétries post-opératoires sont dues au mauvais rétablissement de la DISTANCE AU SOMMET S, initiale et identique à S du côté sain.**

#### D. Discussion

#### **A propos de l'épidémiologie des fractures de l'os zygomatique et des choix thérapeutiques**

##### **Epidémiologie des deux cohortes pathologiques**

Nous rappelons que notre échantillon des 28 patients inclus dans l'étude ostéométrique n'est ni plus ni moins qu'un échantillon tiré de la cohorte initiale toulousaine de 96 patients. Ces 28 patients avaient pour seule différence avec les autres patients traumatisés, un bilan d'imagerie pré et post-opératoire complet. Nous n'avons pas remarqué de biais de sélection dans ces 28 : ils étaient uniformément répartis concernant le sexe, l'âge, les étiologies et les types de fractures.

Notre cohorte initiale de 96 patients présente une bonne cohérence externe.(140) Il existe sans surprise une prédominance masculine (sex-ratio à 7 pour le

groupe des 96 et sex-ratio a 3 pour le groupe des 28), et une moyenne d'âge de 36 ans. Concernant les étiologies traumatiques, il y a là-aussi une bonne cohérence avec les études européennes(24)(140). Les actes de violence arrivent sans conteste en tête des étiologies. Le sport est en deuxième position : cette notion est toutefois différente du reste des statistiques européennes mais est aisément compréhensible car en Midi-Pyrénées, les sports de haute montagne et le rugby sont très pratiqués.

Concernant les types de fractures et leur classification, nos cohortes n'échappent pas aux tendances européennes voire mondiales.

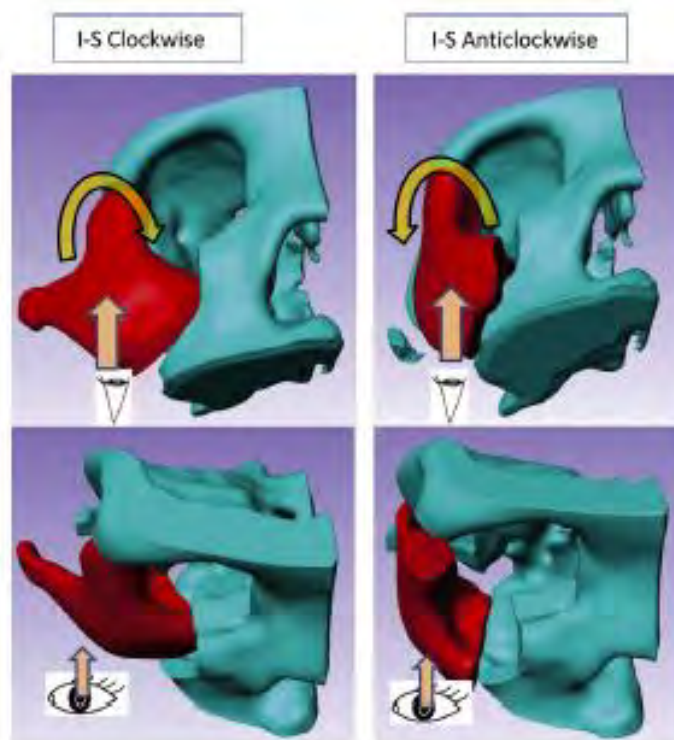
Toujours sur les 96, selon la classification de Zingg, on trouve dans l'ordre décroissant de prévalence d'abord les types B (47%)(140)(141) puis les types A1 (38,4%), C (7,4%), A3 (3,1%) et A2 (1%). On retrouve le même ordre décroissant pour l'échantillon des 28, avec respectivement 67,9%, 17,9%, 7,1% ex æquo pour les types C et A3 et 0% pour A2. Les résultats ont une bonne cohérence externe et interne.

Pour les 28, le classement par ordre décroissant de prévalence selon la classification de Knight suit la tendance de la classification de Zingg, puisqu'elles ont des points communs indéniables : type 4 (35,7%), puis 3 (28,6%), 2 (17,9%), 5 (10,7%) et enfin type 6 (7,1%).

Ces différentes classifications ont une justification biomécanique et bioarchitecturale. La nature des impacts portés sur le complexe zygomatique explique le type de fracture engendré, notamment la haute fréquence des fractures tétrapodes et de l'arcade zygomatique. Les rotations sont les déplacements les plus fréquemment occasionnés : Knight et North l'avaient déjà remarqué dans les années 1960 (33% de leur cohorte avaient des fractures avec rotation).(26)

Très souvent, l'os zygomatique, pare-choc de la face reçoit des impacts latéraux ou antérieurs. Le zygoma devrait donc théoriquement être déplacé en dedans et/ou en arrière lors des traumatismes. Mais, il semblerait que la contraction des muscles masséter et temporal ait tendance à retenir latéralement l'os zygomatique : ils ont un effet tampon sur le déplacement purement horizontal.(142) Une rotation peut se surajouter en revanche : elle se ferait essentiellement autour d'un axe vertical crânio-caudal et surtout dans le sens horaire. Le sommet de l'os zygomatique suit le mouvement et a une tendance à la rétrusion : il s'enfonce par rapport au côté sain.





I-S : axe crânio-caudal

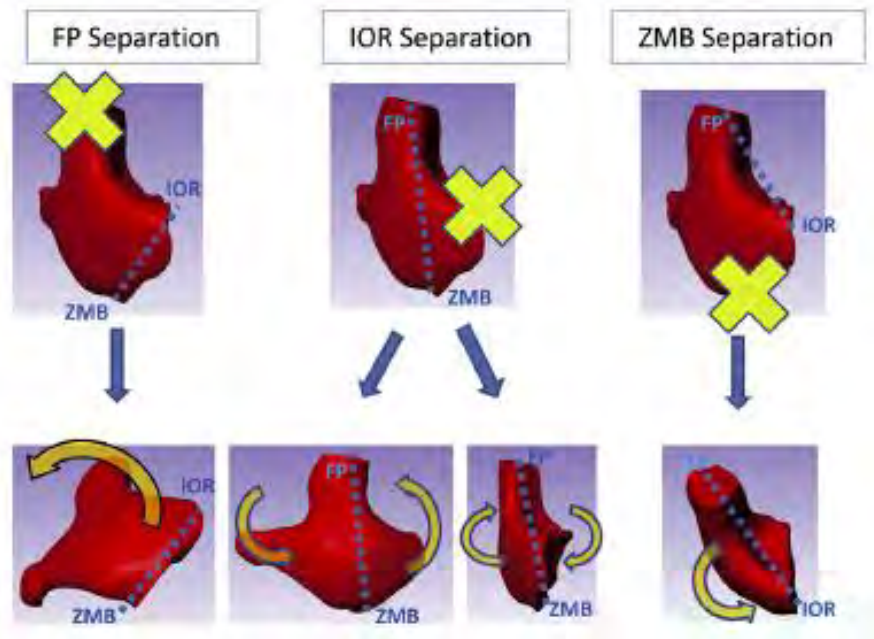
Clockwise : rotation horaire

Anticlockwise : rotation anti-horaire

Lors d'un choc sur l'os zygomatique, la rotation s'effectue le plus souvent autour d'un axe vertical et dans le sens horaire.

**Figure 60.** Cas les plus fréquents de rotation post-traumatique de l'os zygomatique d'après Toriumi et al.(142)

Lors des cas de fractures tétrapodes du complexe zygomatique, l'arcade zygomatique casse en premier car elle est la plus fragile de par sa minceur. Selon la cinétique du choc et son vecteur, la suture zygomatiko-frontale, le rebord infra-orbitaire et la console se cassent les uns après les autres dans des ordres différents.



FP separation : fracture de la suture fronto-zygomatique initiale. Elle est ensuite suivie d'une rotation autour de l'axe (en pointillé) reliant l'articulation au niveau du rebord infra-orbitaire et le cintre zygomatico-maxillaire qui peuvent, si la force est suffisante, se casser aussi.

IOR separation : fracture du rebord infra-orbitaire initial. Elle est ensuite suivie d'une rotation autour d'un axe reliant la suture fronto-zygomatique et le cintre. Ce schéma est le plus fréquent et consiste en une rotation autour d'un **axe cranio-caudal**.

ZMB separation : fracture de la console zygomatico-maxillaire initiale. Elle est ensuite suivie d'une rotation autour de l'axe reliant la suture fronto-zygomatique et le rebord infra-orbitaire (qui n'est pas un axe cranio-caudal). Ce schéma est le deuxième scénario le plus fréquent.

**Figure 61. Scénari du déplacement du complexe zygomatique post-traumatique d'après Toriumi et al.(142)**

D'après les observations de Toriumi et al., on trouve en règle générale un grand nombre de fracture de type A1 et B de Zingg(140) et de type 4 (rotation horaire autour de l'axe vertical) et 2 de Knight. En revanche, les fractures tétrapodes non déplacées ne trouvent pas d'explication dans leur travail. Nous avons pourtant remarqué qu'elles étaient fréquentes : le type 3 de Knight arrive en deuxième position de fréquence dans la cohorte des 28. Toriumi et al. reconstruisent systématiquement en 3D les TDM et individualisent l'os zygomatique, ce qui leur fait considérer que toutes les fractures ont quelques degrés même minimes de rotation.

Knight et al. dans leur étude trouvaient que le type 3 (pas de rotation) était le plus fréquent puis le 5 (rotation latérale) puis le 4 (rotation médiale). Même si leur classification est d'utilité incontestable aujourd'hui, elle est à présent obtenue à partir de tomographies voire de reconstructions 3D. Il ne faut pas oublier que leurs travaux

reposaient sur une étude purement radiographique en incidence occipito-mentale qui devait parfois s'avérer imprécise d'interprétation. La manière de classer les fractures selon leurs catégories est plus précise de nos jours. Nous mentionnerons néanmoins en accord avec eux que le type 3 est fréquent dans notre échantillon.

### **Prise en charge thérapeutique**

Dans la classification de Zingg étaient déjà proposées les prises en charge chirurgicales en fonction du type de fractures. Zingg et al. insistent sur les objectifs thérapeutiques encore pérennes : rétablir la morphologie pré-morbide du complexe zygomatique et le volume de la cavité orbitaire.

Finalement ces options décrites en 1992 rejoignent le 1<sup>er</sup> organigramme proposé par Ellis en 1996(55) secondairement amélioré en 2014(56). L'AOCMF propose des prises en charge similaires, seul varie l'ordre des ostéosynthèses. De tous les scénari proposés, les auteurs insistent sur le fait qu'une voie d'abord ouverte ne se complétant pas par un geste d'ostéosynthèse ou une réfection du plancher de l'orbite doit être évitée, en particulier pour les voies susceptibles de laisser des séquelles comme la voie d'abord sous-ciliaire.

En théorie, concernant les fractures déplacées :

- Les fractures de l'arcade zygomatique (type A1) doivent être réduites par méthode indirecte. Dans certains cas, une voie d'abord coronale peut-être faite pour restaurer une arcade très comminutive ; elle sera à privilégier surtout s'il y a une fracture tétrapode associée.
- Les fractures isolées de la suture fronto-zygomatique (type A2) doivent être ostéosynthésées.
- Idem pour les fractures isolées de la margelle infra-orbitaire (type A3). Il faut aussi prendre en charge une éventuelle fracture du plancher de l'orbite associée.
- Les fractures tétrapodes (type B) doivent d'abord bénéficier d'une réduction par manœuvre indirecte. En cas d'instabilité, on a recours à une ou des ostéosynthèses. Celles-ci se font dans des ordres différents selon les auteurs. Les ostéosynthèses majoritairement réalisées sont celles de la console zygomatoco-maxillaire.
- Idem pour les fractures tétrapodes comminutives (type C).

Nous avons vu à travers nos résultats que l'équipe de chirurgie maxillo-faciale de Toulouse applique tous ces principes, comme beaucoup d'équipes(143)(144)(145)

Les types B et C de Zingg ainsi que les types 3,4 et 5 nécessitent le plus d'ostéosynthèses et logiquement de voies d'abord. Du matériel d'ostéosynthèse n'est pas systématiquement mis en place sur les 3 sites.

7 patients sur 96 et 2 sur 28 ont eu une voie d'abord excédentaire, c'est-à-dire ne s'étant pas soldée par la mise en place de matériel d'ostéosynthèse (en particulier au niveau supra-orbitaire). On peut penser que ces incisions/dissections ont été menées dans le but de contrôler visuellement les réductions fracturaires. Ces événements auraient pu être évités si nous disposions du contrôle tomographique per-opératoire.

Peu d'auteurs se sont réellement penchés sur la notion d'ostéosynthèse en excès (synthèse sur un site non déplacé), mise à part Barry et al. (146) qui supposent que l'action des muscles masticateurs en post-opératoire est délétère en particulier sur la suture fronto-zygomatique. Ils préconisent donc de synthésiser les 3 sites fracturés.

Nous avons dans le cadre de nos fractures de type A3 (fracture du rebord orbitaire inférieur) synthésé le cintre zygomatoco-maxillaire. Il y a trois possibilités, soit

le cintre s'est déplacé après réduction de la fracture du rebord infraorbitaire par manœuvre endobuccale, soit le complexe zygomatique bien que cassé sur un seul site a subi un degré de rotation (selon la théorie de Toriumi) et il a été nécessaire de le réduire par voie endobuccale incitant alors le chirurgien à synthésiser la console, soit la classification de la fracture était erronée.

Quoi qu'il en soit, il semblerait que la réparation d'une fracture tétrapode dépende de l'expérience et de l'appréciation personnelle du chirurgien maxillo-facial. Finalement, il existe une part d'improvisation à l'opérateur tant qu'il n'utilise pas de méthode tomographique de contrôle per-opératoire pour un guidage précis et objectif.

### **A propos de l'étude ostéométrique de l'os zygomatique appliquée à la traumatologie**

#### **Mirroring et résultats qualitatifs**

Nos 3 mesures S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  étant en test, nous avons besoin d'un Gold standard de la qualité de notre réduction.

Nous avons utilisé le principe du mirroring qui consiste en une superposition du côté sain sur le côté pathologique. Habituellement, ce mirroring est utilisé en contrôle tomographique simple per-opératoire (fusion d'images) ou pour la navigation per-opératoire. Nous avons choisi d'utiliser notre logiciel de navigation en post-opératoire et vérifié avec des critères objectifs la qualité du résultat. L'utilisation du mirroring se justifie d'autant plus que l'analyse d'une radiographie ou d'un Cone-Beam de contrôle était jusqu'ici relativement subjective puisqu'aucun critère mathématique fiable et précis n'était à disposition.

*En faisant, cette manipulation nous avons pu apporter une nouvelle notion pratique et utile à notre équipe : les logiciels de planification avec mirroring permettent de travailler sur des Cone Beam. C'est aussi un élément positif pour les patients car le CBCT est moins irradiant : l'imagerie pré-opératoire pourra donc être un CB si nous souhaitons utiliser la navigation pour nos ostéosynthèses.*

Ce mirroring reposait sur une « loi du tout ou rien », l'image en miroir devait être confondue avec celle du complexe zygomatique réparé, surtout au niveau de l'éminence zygomatique. Une marge d'incertitude de 2,5 mm aurait pu être admise (degré d'asymétrie observé sur le massif facial(132)), mais le logiciel iplannet® ne permettait pas de contrôler les distances. En outre, on aurait pu proposer un autre  $\Delta$  de mesure entre les deux côtés basés sur les observations cliniques. Le problème était double : à partir de quel  $\Delta$  repère-t-on macroscopiquement une asymétrie de la pommette, et surtout de sa projection antérieure ? Quel est son corollaire osseux ? Nous n'avons pas de notion à ce sujet, nous n'avons en conséquence pas pu décider d'un autre intervalle de mesure entre les 2 côtés. De plus, iplannet® ne nous aurait vraisemblablement pas permis de le mettre en évidence techniquement.

9 patients sur 28 étaient considérés comme parfaitement symétriques au niveau du cadre osseux en post-opératoire immédiat soient 32%, et 19 asymétriques soient

68%. Une question légitime nous vient à l'esprit : un chirurgien peut-il annoncer à ses patients « j'ai 32% de chance de rétablir votre symétrie. » ? (En plus, sans garantie qu'il existait une symétrie initiale). Cela est assez difficile à assumer pour notre corporation. Et pourtant, nous n'avons pas 68% de nos patients insatisfaits.

Le leitmotiv de ce travail refait surface dans cet argumentaire : un contrôle tomographique per-opératoire limiterait sûrement cette forte probabilité d'imperfection. Beaucoup d'équipes sont dans notre cas car elles ne disposent pas du contrôle per-opératoire et ont aussi potentiellement cette douloureuse marge d'asymétrie.

Quant à la concordance clinique, c'est le fameux degré d'asymétrie que l'œil humain n'est pas en mesure de repérer sur le visage d'autrui, qui entre en cause dans l'appréciation post-opératoire. Beaucoup d'auteurs sont d'accord sur le fait que les asymétries franches cliniques existent mais qu'elles sont moindres par rapport à celles existant sur le cadre osseux.(144)(145)(147) Par ailleurs, l'évaluation subjective du patient doit aussi être prise en compte. Tous ces éléments cliniques permettent de nous faire relativiser notre recherche de perfection.

### **S, $\alpha S$ et $\alpha Z$**

L'utilité de critères objectifs de vérification de la qualité de la réduction s'est peu à peu fait ressentir. Ces critères pourront être utilisés sur les tomographies post-opératoires et encore mieux sur les tomographies per-opératoires.

S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  sont des mesures fiables et reproductibles et peuvent être utilisées dans l'étude de la symétrie du massif facial.

Elles sont applicables en MSCT mais aussi en CBCT. Il n'y avait aucune différence significative entre les côtés sains homologues sur les 2 types d'examens. Ceci s'explique par la précision du Cone Beam communément admise.(118) Néanmoins, la résolution spatiale et l'homogénéité d'image du Cone Beam est moins bonne que la TDM. Mais il n'y a aucune différence entre la précision géométrique et linéaire entre ces deux examens.(148) C'est pourquoi, dans notre étude, les 3 mesures sont équivalentes sur les 2 types de tomographies.

S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  ont pu être appliquées sur le complexe zygomatique traumatisé, le massif facial étant symétrique(132), l'hypothèse de départ était la suivante : la réparation du complexe zygomatique est jugée satisfaisante si elle est symétrique au côté sain et si S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  sont identiques des 2 côtés.

Sur une première analyse, nous avons remarqué que les asymétries après réparation sont essentiellement dues à une différence de mesure de S entre côté sain et côté opéré, avec des angles  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  statistiquement identiques des 2 côtés.

Pour confirmer ce résultat, nous avons fait une analyse en sous-groupes : le premier groupe était dit « symétrique » avec un mirroring du côté sain sur le côté réparé confondu, et le deuxième groupe dit « asymétrique » avec des mirroring non confondus.

L'analyse dans le sous-groupe « symétrique » montre que S,  $\alpha S$  et  $\alpha Z$  sont statistiquement identiques en post-opératoire côté sain versus côté pathologique, confirmant la qualité de la réduction.

L'analyse dans le sous-groupe « asymétrique » confirme l'implication de la mesure S dans l'asymétrie. Les 2 autres mesures ne jouent pas un rôle capital bien que  $\alpha S$  représente le secteur d'angle de l'axe vertical au sommet, soit la latéralisation de

celui-ci, et  $\alpha Z$  l'angle morphologique du corps zygomatique : sommet et une partie de l'arcade zygomatique comprise.

Ce résultat est cohérent avec l'étude Gong et al.(134) Ils considèrent que la distance au sommet du zygoma (CE) peut être utilisée sur un scanner et mesure la symétrie du complexe zygomatique. Notre étude confirme leurs hypothèses et met davantage en exergue la mesure S, équivalente en 2D de leur mesure CE, et ajoute une nouvelle notion sur l'utilisation de S en CBCT.

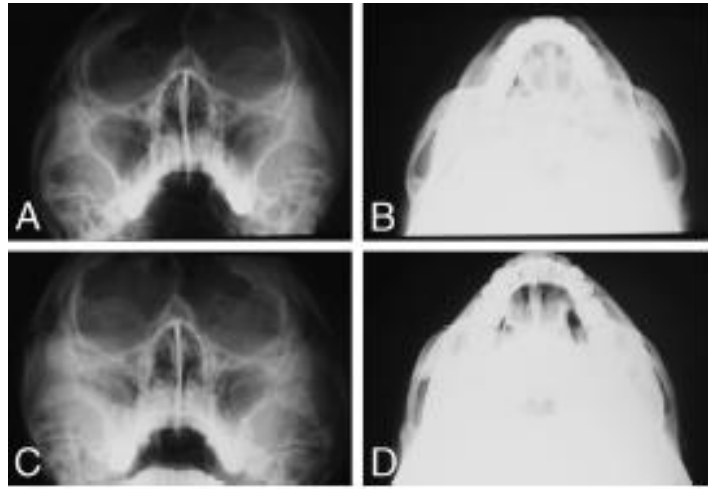
De plus, les explications biomécaniques de Toriumi et al.(142) vont dans le sens de nos conclusions. L'os zygomatique fracturé tourne bien souvent sur lui-même dans un sens horaire selon un axe vertical, les déplacements de type translation selon un vecteur horizontal dans le sens transversal sont plus rares qu'on ne le pense. Cela explique pourquoi  $\alpha S$  est peu impliqué dans la qualité de la réduction car il se modifie peu lors du mécanisme fracturaire.

Concernant  $\alpha Z$  et sa non-implication, le résultat peut être expliqué par la solidité du corps de l'os zygomatique. Comme le disait Gillis, le zygoma se casse sur ses attaches et très rarement sur son corps. L'angle  $\alpha Z$  modélise davantage la morphologie du corps du zygoma en incluant l'éminence zygomatique que la totalité du complexe : ce qui explique sa non-significativité car le corps du zygoma ne se fracture pas.

Pour objectiver une hypothétique modification de  $\alpha Z$  dans notre étude, il faudrait revoir la façon de le modéliser en intégrant la totalité de l'arcade zygomatique pour représenter le complexe entier. Il faudrait s'inspirer de la mesure 3 (measurement 3) de Furst et al.(133) et du maximum de largeur dit W de Gong et al.(134) Néanmoins, un des résultats de Furst et al. laisse présager de la difficulté à mettre en évidence la morphologie de l'arcade zygomatique car leur « measurement 3 », distance allant de l'origine du processus zygomatique du temporal au sommet du zygoma, s'était avéré non significatif pour évaluer la symétrie du massif facial. Trouver un  $\alpha Z$  optimal à tracer est un nouveau défi.

Pourtant dans les plasties malaires de réduction, en plus de modifier la position du sommet de l'os zygomatique, on mobilise l'arcade zygomatique. Les meilleurs résultats esthétiques sont obtenus avec les ostéotomies qui mobilisent le sommet du zygoma(99). On voit bien que lors de ces interventions programmées avec des fractures guidées par la main du chirurgien, on modifie la position du sommet mais aussi le degré d'angulation de l'arcade zygomatique, ce qui a un retentissement clinique sur la morphologie de la pommette avec diminution de la projection antérieure et latérale.

L'arcade zygomatique a donc un rôle indéniable dans la morphologie latérale de la pommette.



A et B. Radiographie pré-opératoire avec une éminence et une arcade zygomatique poéminente

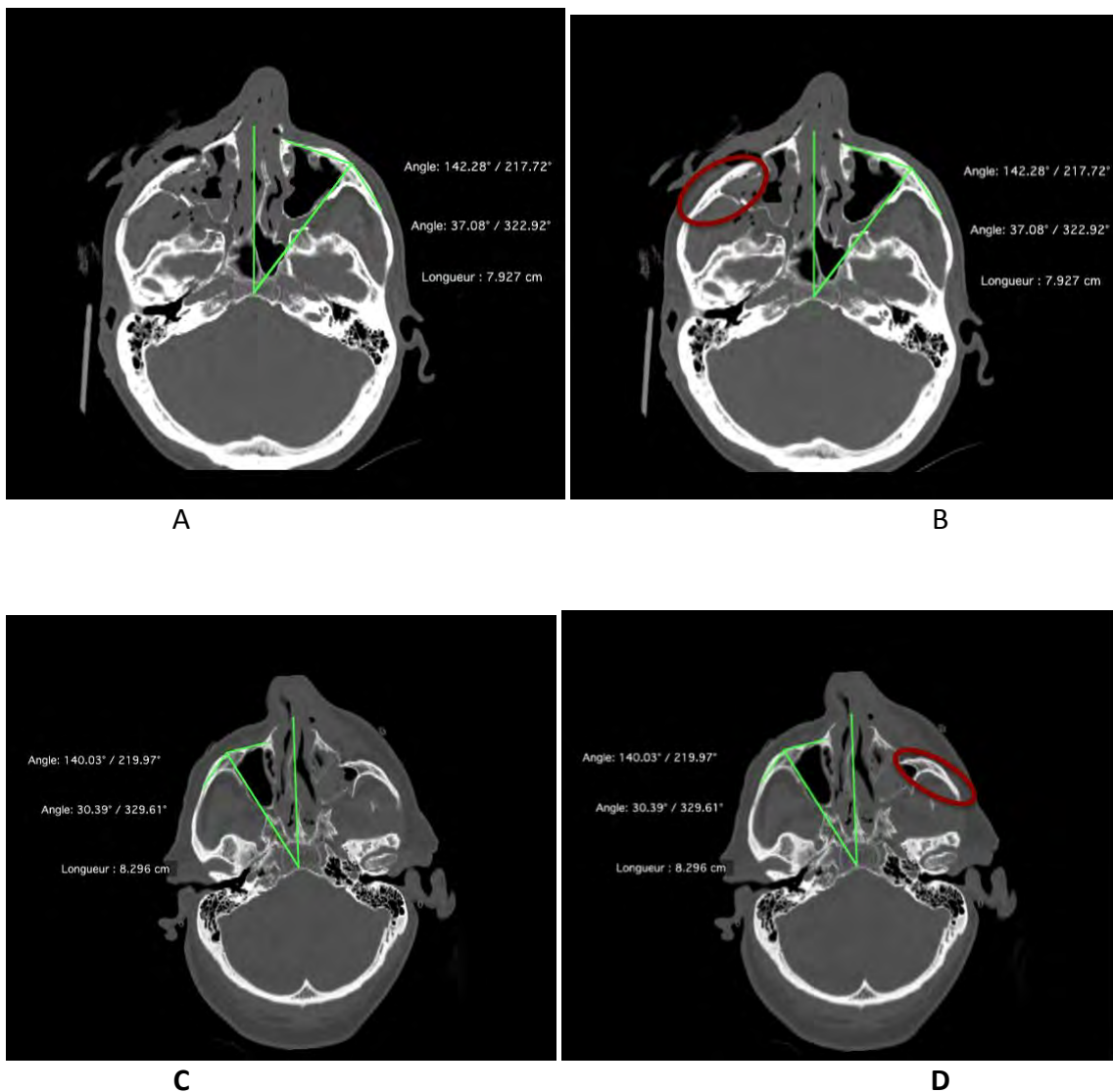
C et D. Radiographie post-opératoire avec réduction complète de l'arcade zygomatique en haut, en arrière et en dedans entrainant une diminution de projection de l'éminence zygomatique.

Sur les photographies correspondantes, en haut : clichés pré-opératoires, en bas clichés post-opératoires.

**Figure 62. Exemple de plastie malaire de réduction de type 3 d'après Hong et al. (110)**

L'angle  $\alpha Z$  de notre étude est du registre de la fracture (due à l'orientation et à la vélocité du traumatisme) et non de l'ostéotomie. Les fractures tétrapodes disjonctent les sutures. L'absence de significativité de cet angle est liée au fait qu'il est obtenu à partir de la suture zygomatico-temporale et la position de l'éminence zygomatique. Nous avons vu que les déplacements fracturaires spontanés ne s'effectuent pas dans le sens transversal : l'arcade zygomatique se casse en premier surtout autour de la suture

zygomatiko-temporale et ne suit pas le mouvement du reste du zygoma qui se fait surtout en rotation. La partie reliant le sommet et la suture temporo-zygomatique de  $\alpha Z$  se mobilise en monobloc et est peu sujette aux modifications angulaires : elle s'impacte et/ou fait une rotation comme le montrent les exemples de TDM suivants. Le chirurgien en effectuant sa réduction déplace le bloc et le synthèse aux sutures avoisinantes, c'est pour cela que  $\alpha Z$  est non significatif :  $\alpha Z$  se déplace comme une entité à part entière en se fracturant et en se réduisant.



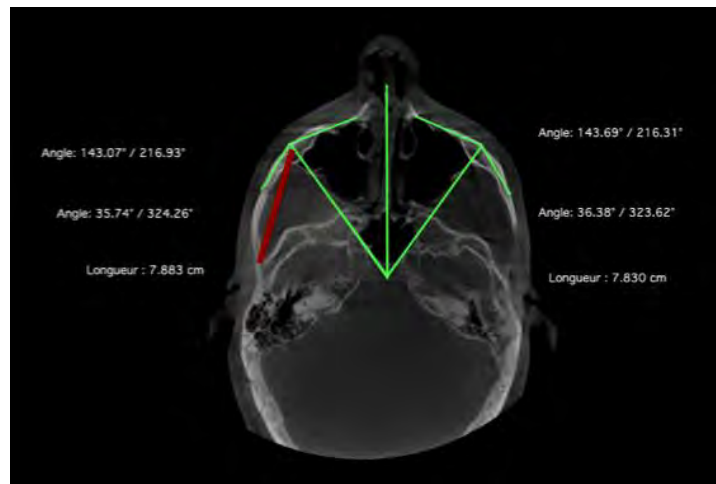
A et B sont un seul et même patient. Le corps du zygoma comportant l'angle  $\alpha Z$  est cerné de rouge.  
Idem pour C et D.  
On voit que le corps du zygoma comprenant  $\alpha Z$  se déplace en bloc.

**Figure 63.** Exemple de déplacement du corps de l'os zygomatique après traumatisme



Pour que  $\alpha Z$  eût été significatif, il aurait fallu inclure la totalité de l'arcade zygomatique, or trouver une seule et unique tangente à l'arcade était impossible. Nous avons, par défaut, fait le choix de nous placer sur la suture zygomatiko-temporale qui était un point fixe fiable, moyennant à notre insu une évaluation de la morphologie du corps du zygoma et pas du complexe total.

Les nouvelles modalités d'obtention d' $\alpha Z$  sont peu satisfaisantes si on exploite la droite moyenne modélisant l'arcade zygomatique. Cette droite, souvent grossière, passerait par l'origine du processus zygomatique du temporal à l'éminence zygomatique et risquerait d'induire des biais dont le « measurement 3 » de Furst et al.

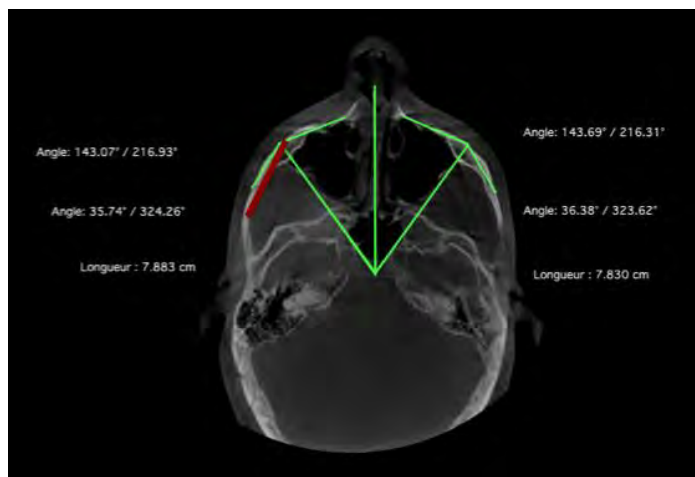


En rouge : exemple de droite moyenne de l'arcade zygomatique s'étendant du sommet S à l'origine du processus zygomatique du temporal.

On voit comment la droite rouge représente grossièrement la projection latérale de l'arcade et la morphologie latérale du zygoma. Elle semble non satisfaisante dans sa représentation de la projection latérale de l'arcade zygomatique.

**Figure 64. Exemple d'une droite moyenne pouvant être représentative de la morphologie latérale de l'arcade zygomatique (CB avec fracture tétrapode droite opérée)**

Il faudrait se rabattre sur une modélisation incluant le maximum de projection latérale de l'arcade zygomatique comme l'avait fait Gong et al ainsi que Furst et al. pour obtenir un angle  $\alpha Z$  plus cohérent et plus représentatif de la morphologie du complexe. Ce maximum de projection latérale est aussi cohérent avec les principes chirurgicaux des plasties malaires. La droite représentant l'arcade zygomatique relierait le maximum de projection latérale de l'arcade nommé arbitrairement A (pour arcade) au sommet zygomatique S.



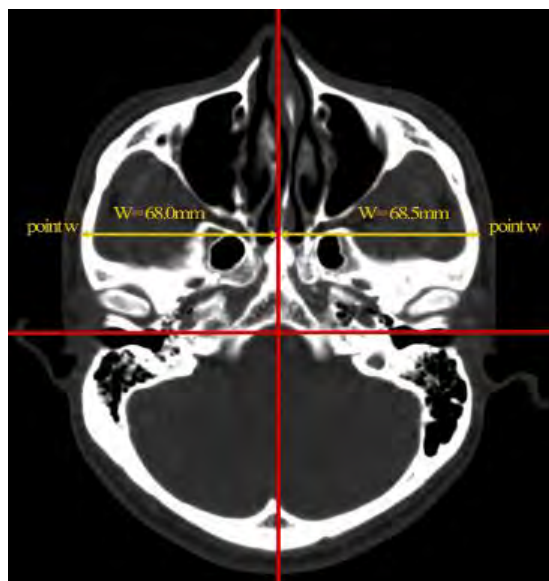
En rouge, exemple de droite moyenne de l'arcade zygomatique s'étendant du sommet S au maximum de projection latérale de l'arcade zygomatique. Cette droite modélise plus fidèlement l'arcade zygomatique que la droite proposée précédemment et prend en compte sa projection latérale avec utilisation du maximum de projection latéral du complexe zygomatique.

**Figure 65. Exemple de la droite moyenne représentative de la morphologie latérale de l'arcade zygomatique (CB avec fracture tétrapode droite opérée)**

Il faudrait reprendre nos observations avec cette nouvelle proposition de  $\alpha Z$  qui semble plus complète et considère à la fois la projection antérieure (S) et la projection latérale (A), du complexe zygomatique. De plus, ce nouvel angle est en adéquation avec les observations faites dans les plasties malaires.

Si  $\alpha Z$  modifié venait à ne pas être significatif, il le serait sûrement par la même explication de la mobilisation en bloc du corps du zygoma (car le maximum de projection latérale est globalement proche de la suture zygomatico-temporale). Il faudra uniquement se concentrer sur la distance A, en espérant trouver la même significativité que S. A serait alors la distance perpendiculaire à l'axe vertical central. La distance à l'origine des axes est en fait difficile à obtenir car A est proche de cet origine. Cette droite perpendiculaire semble plus précise comme le mentionnaient Gong et al.

Si on trouve que notre  $\alpha Z$  modifié est non significatif, mais que A l'est, on pourra uniformiser notre modèle en créant une nouvelle distance S au sommet du zygoma et perpendiculaire à l'axe central.



w correspond au point A, maximum de projection latérale du complexe zygomatique.  
La distance W correspond à la distance A.

**Figure 66.** Mesure du maximum de projection latérale (distance A) du complexe zygomatique d'après Gong et al.(134)

### Perspectives

Notre référentiel d'ostéométrie tomographique du complexe zygomatique normal et fracturé peut être utilisé en pratique chirurgicale, notamment pour la distance S. Il sera à compléter dans des travaux ultérieurs avec la distance A discutée précédemment, et avec un nouveau  $\alpha Z$  émanant de S et A. Nous rappelons que cette étude était une analyse préliminaire et ouvre évidemment des portes vers des précisions futures.

Cette étude a aussi jeté le doute sur la qualité de nos réparations mais aussi sur certaines de nos habitudes chirurgicales :

- Il existe des imperfections osseuses post-opératoires en grand nombre : 68% de patients sont asymétriques au niveau du cadre osseux au décours de la chirurgie.
- Nous avons parfois tendance à pratiquer des voies d'abord en surnombre par rapport aux sites ostéosynthésés, uniquement pour contrôler visuellement la réduction de nos fractures.

Ces deux problématiques pourraient être résolues par l'utilisation d'une tomographie per opératoire comme le font certaines équipes suisses et allemandes (124)(125)(126)(130)(139) ou par une navigation per-opératoire des fractures du complexe zygomatique très déplacées(89)(90)(91)(92)(138) (la navigation n'augmenterait le temps opératoire que de 15 minutes(93)).

L'absence de notion du degré d'asymétrie repérée par l'œil humain sur un visage, permet de comprendre pourquoi nous n'avons pas 68% de patients insatisfaits.(145)

L'asymétrie osseuse n'est pas forcément superposable à l'asymétrie des parties molles en dessous d'un certain seuil, que nous ne connaissons pas à l'heure actuelle. La seule donnée anthropométrique osseuse disponible est la différence de 2,5mm fréquemment observée entre les 2 côtés d'un même massif facial, mais elle ne suffit pas à expliquer les asymétries séquellaires des parties molles.

Il faudrait rechercher ce seuil (qui sera un seuil d'indulgence) sur une étude par CBCT des parties molles en post-opératoire tardif après fonte de l'œdème et disparition des hématomes sur un échantillon d'individus opérés et déclarés soit symétriques, soit asymétriques sur mirroring ou avec notre étude ostéométrique. Ce seuil nous permettra de relativiser certaines asymétries osseuses post-opératoires. Nous admettons probablement déjà cette marge d'imperfection mais nous n'en avons pas la preuve scientifique à ce jour.

## E. Conclusion

Nos échantillons d'étude monocentrique du service de chirurgie maxillo-faciale de Toulouse ont une bonne cohérence externe. L'élaboration de notre référentiel initial a été, en outre, acquise sur des TDM normales. Les résultats de notre étude tomographique pourront donc être généralisés.

Nos données ostéométriques peuvent être appliquées sur MSCT et CBCT en particulier pour la mesure S. Elles mettent toutes en évidence la symétrie du massif facial. La coupe axiale doit être choisie avec précaution : elle devra être systématiquement dans le plan de Francfort et passer par l'éminence zygomatique qui se situe sur une ligne parallèle au rebord infra-orbitaire passant par le foramen infra-orbitaire. L'éminence zygomatique est le maximum de projection antérieure de l'os zygomatique. L'axe vertical central équivalent à l'axe de symétrie du massif facial doit passer par le milieu du clivus. L'idéal que ce soit pour un MSCT et un CBCT est d'obtenir la série d'images avec le patient ayant la tête dans le plan de Francfort d'emblée.

Concernant la réparation des fractures, seule la mesure S est significative et sera la valeur à contrôler en per-opératoire et/ou en post-opératoire. Une notion de projection latérale du complexe zygomatique devra être rajoutée pour augmenter la précision du référentiel. Un nouveau  $\alpha Z$  pourra en être déduit.

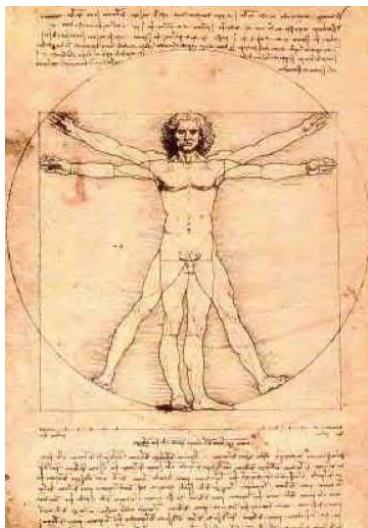
Ce travail confirme que nous entrons bel et bien dans l'ère de la chirurgie assistée par ordinateur et que le contrôle tomographique per-opératoire a une forte tendance à se justifier. Bien sûr, les équipes de chirurgiens maxillo-faciaux ne possédant pas de CB per-opératoire, dispositif onéreux, ne sont pas dans l'erreur : cette pratique est en cours d'acceptation et se répand lentement dans les services universitaires.

L'obligation de moyen vis à vis de nos patients ne concerne pas encore le contrôle tomographique per-opératoire. Néanmoins, celui-ci augmente la précision de nos réparations et nous permet d'être économe sur les voies d'abord. Notre référentiel de mesure notamment S peut être appliqué sur les imageries de contrôle, et sera à préciser à l'avenir. Il est possible d'utiliser les conclusions de notre travail ostéométrique sur une TDM ou un CB de contrôle post-opératoire, en revanche en cas d'erreur non acceptable (dont nous rappelons que nous ne connaissons pas le seuil) le patient devra subir une nouvelle intervention sous anesthésie générale.

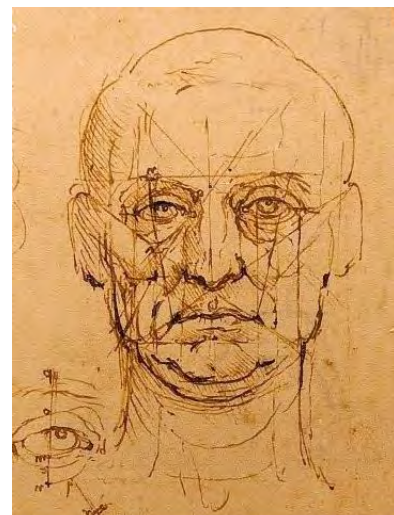
## CONCLUSION

Enigmatique et mystérieuse, la beauté est un secret impénétrable. Souvent considérée comme indéfinissable, elle n'est régie par aucune norme ni critère unanimement déterminé. On dit que « la beauté est dans l'œil de celui qui la contemple », proverbe anglais reformulé par Oscar Wilde. L'idée est ancienne et se rapproche d'une question philosophique de la Grèce Antique : « la beauté est-elle dans le regard ou dans la chose regardée ? »; la subjectivité de celle-ci est sous-entendue. Delacroix, peintre français du XVIIIème siècle, quant à lui affirme que « l'harmonie est l'expression la plus vaste du Beau », une opinion partagée par le sculpteur grec Polyclète, au Vème siècle avant JC, qui écrivait dans son traité Kanòn « En toute chose, le Beau résulte de la justesse des proportions ». Aristote définit la beauté en trois mots : précision, symétrie et coordination. Albrecht Dürer s'est efforcé de concilier géométrie et postulat d'une beauté parfaite, mais dans son « Traité des proportions du corps humain » en 1528, l'artiste allemand est obligé de constater qu'elles ne sont pas univoques. Il détaille d'ailleurs plusieurs types de femmes : « la villageoise », « la gresle » belles à leur manière, mais délicates à traduire en chiffre.

**La notion de symétrie est un idéal de beauté qui perdure depuis des siècles.** Les perfectionnistes de ce Monde affectionnent grandement leur « mère symétrie » qui rythme les productions humaines qu'elles soient mathématiques, matérielles ou biologiques. L'Homme de Vitruve et les travaux concernant les proportions du visage de Léonard de Vinci sont de dignes représentants de la symétrie voire de la perfection. De Vinci inscrit L'Homme de Vitruve dans un cercle et dans un carré, formes de symétrie parfaite, en lui conférant le mouvement, dans un jeu de mutation et d'équivalence.

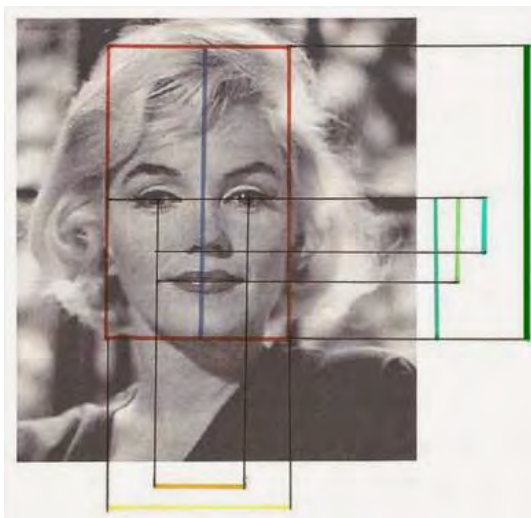


**L'Homme de Vitruve** d'après Léonard de Vinci (1485-1490)

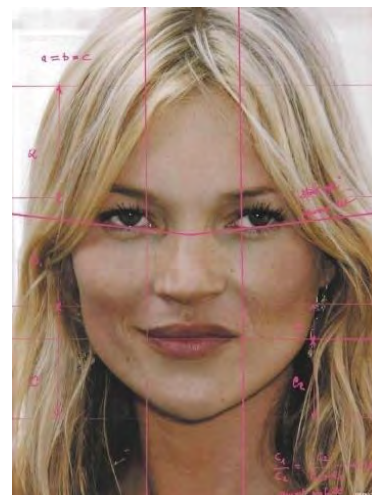


**Les proportions de la tête et du visage** (1488-1489) d'après Léonard de Vinci

Un autre exemple en matière de symétrie est l'application du Nombre d'Or. On prête à ce nombre d'Or des vertues esthétiques et mathématiques (considérées comme mystiques) caractérisées de « divines proportions » ou « section dorée ». L'esthétique suprême résiderait dans le mythique 1,6180339 ou « phi ». C'est le grec Euclide qui, au III<sup>ème</sup> siècle avant JC, a fait la première démonstration de ce nombre. Luca Pacioli publia à Milan en 1498 un ouvrage nommé « De Divina Proportione » traitant des propriétés esthétiques du nombre d'or. Il travailla ensuite avec Léonard de Vinci sur ce nombre et c'est ainsi que naquirent les fameux dessins des proportions humaines, sans toutefois y introduire la notion de beauté. La symétrie des moitiés mise en évidence par la section dorée serait un point important de la beauté des visages. On reconnaît aujourd'hui une utilisation exagérée voire fallacieuse de ce nombre d'or.



**Marylin Monroe et le nombre d'Or**



**Kate Moss** analysée pour le magazine TATLER selon les proportions divines de de Vinci.

En 2012, un sondage mené au Royaume-Uni réunissant 8000 participants a permis d'élire le visage « le plus naturellement beau » de Grande-Bretagne. Après étude du « masque de beauté » (Dr Marquardt), les lignes du visage de la jeune femme élue étaient très proches de celles de Marlene Dietrich, Marilyn Monroe ou la reine égyptienne Nefertiti qui aurait eu une beauté légendaire. Leur point commun est un visage frôlant la perfection symétrique qui est finalement le facteur clé de la « beauté objective ».

Il existe de toute façon des asymétries naturelles que l'on ne perçoit pas et dont nous ne connaissons pas le seuil de détection. Ces visages dits « parfaits » ne sont pas les plus communs. Des visages imparfaits peuvent être séduisants. En revanche, tout n'est visiblement pas qu'affaire de goûts personnels. Il semblerait que certaines caractéristiques du visage font consensus sur l'aspect séduisant. Quelques unes ont été spécifiées, dont l'aspect prototypique du visage c'est-à-dire les traits du visage qui se rapprochent des traits moyens de l'ensemble des visages du même sexe. Finalement des

pommettes séduisantes sont des pommettes moyennes... En effet, un visage moyen semble présenter moins de défauts à l'observation.

Pour nous conforter dans cette idée, l'artiste australien Julian Wolkenstein évoque dans ses œuvres modernes (obtenues sur ordinateur) qu'une symétrie trop parfaite des parties molles du visage peut susciter le malaise à l'observation.



Cliché de droite : hémiface droite mise en miroir à gauche  
Cliché de gauche : hémiface gauche mise en miroir à droite

### **Mirroring d'un individu représentant la symétrie « parfaite » mais déroutante** selon l'artiste Julian Wolkenstein (echoism.org)

Le chirurgien maxillo-facial, esthète dans l'âme, fait partie des perfectionnistes qui essaient tant bien que mal de restaurer la symétrie du massif facial osseux après fracture. Nous rappelons que la Nature, s'octroie en moyenne pour contrarier le perfectionniste, le droit à une différence de 2,5 mm de part et d'autre du massif facial osseux. Nous ne savons pas si cette différence du cadran osseux est perceptible au niveau des parties molles. Nous ne connaissons pas non plus le  $\Delta$  entre les dimensions des deux hémimassifs entraînant une asymétrie des parties molles.

A travers cette étude, nous puisons finalement nos idées dans les travaux des Anciens concernant **le visage mathématique** mais aussi de nos quelques contemporains s'étant penché sur la question de l'ostéométrie de l'os zygomatique. Nous avons essayé de construire un référentiel géométrique du complexe zygomatique à l'aide des avancées technologiques actuelles à savoir l'imagerie médicale tomographique.

Nous n'avons malheureusement pas à disposition beaucoup de données cranio-faciométriques consensuelles : la morphologie de la joue est difficile à évaluer et l'éminence zygomatique avait jusqu'alors toujours semblé difficile à mettre en évidence.

Nous avons pu confirmer la symétrie du cadre osseux sur TDM normaux, malheureusement sans pouvoir étudier son corollaire au niveau des parties molles sus-jacentes. En résumé, le chirurgien maxillo-facial a pour objectif de rétablir la symétrie osseuse du massif facial traumatisé, qui est en fait une restauration de la morphologie pré-morbide des structures osseuses. Il cherche à rétablir la « parfaite symétrie » comme en aurait eu vraisemblablement envie de Vinci ou Pacioli s'ils vivaient encore.

L'impossibilité d'étudier les relations entre asymétries osseuses post-fracturaires et asymétrie des parties molles, le  $\Delta$  admis de 2,5 mm entre les deux côtés, les travaux artistiques de Wolkenstein et les observations du perfectionniste Albrecht Dürer mentionnant l'existence des « belles imperfections », permettent de nous faire réfléchir sur une certaine marge d'erreur quant au rétablissement de la symétrie osseuse, n'en déplaisent aux perfectionnistes. D'autant plus que notre appréciation de chirurgien n'est pas celle du patient à tel point que certaines équipes font répondre à un questionnaire de satisfaction standardisé post-opératoire pour cerner l'opinion des patients réparés.

Nous rappelons que si cela n'avait tenu qu'à nous, nous aurions classé 68% de notre cohorte comme résultat asymétrique donc morphologiquement inacceptable et ce sans connaître le seuil de tolérance d'asymétrie osseuse et surtout l'avis post-opératoire des malades. Il faut admettre que 68% de résultats asymétriques qui pourraient être assimilés de manière drastique à des échecs, seraient difficiles à avouer et nous feraient mauvaise presse. Or aucun de nos patients n'a revendiqué d'asymétrie post-opératoire.

Nous croyons par ailleurs foncièrement, que le but des patients ayant subi une intervention réparatrice est de revenir à leur faciès antérieur qu'il eût été symétrique ou non.

Mais dans une quête de la performance, stimulant intellectuellement notre corporation chirurgicale, la chirurgie assistée par ordinateur est à présent un formidable outil pour un travail optimal dans le rétablissement de la symétrie (qu'elle existe ou non à l'état pré-morbide).

Le contrôle tomographique per-opératoire de la réduction du complexe zygomatique objective directement les erreurs de réduction et guide l'ostéosynthèse. Il permet aussi de limiter les voies d'abord inutiles.

Notre référentiel ostéométrique de projection de l'os zygomatique pourra être appliqué en per-opératoire par les équipes disposant d'un tel matériel sur une coupe axiale unique comprenant le sommet de l'os zygomatique (coupe passant par le foramen infra-orbitaire et parallèle à la margelle infra-orbitaire). Il consiste essentiellement à vérifier la position du sommet zygomatique après réduction. Nous proposerons en ce sens, ultérieurement, d'autres travaux pour améliorer et uniformiser notre référentiel incorporant probablement la projection latérale du zygoma. Pour les autres équipes, il pourra être utilisé en post-opératoire sur la même coupe tomographique.

De ces observations sur la CAO, naîtront peut-être deux familles de chirurgiens maxillo-faciaux. La première sera adepte du cadran osseux parfait, en recherche d'utilisation toujours plus poussée des nouvelles technologies (contrôle tomographique per-opératoire ou navigation). La seconde réparera ses patients selon son expérience, ses observations de la réduction au niveau des différentes sutures, en effectuant consciencieusement son contrôle radiologique ou tomographique post-opératoire ; elle aura compris les discrètes imperfections de la Nature qui peuvent d'ailleurs pré-exister à l'accident. Ce dernier groupe admettra l'idée que nous avons une marge d'erreur.



Quoi qu'il en soit, ni l'une ni l'autre des familles n'est parfaite et chacune a probablement de bons arguments.

*Pour vous faire sourire chers lecteurs, que les chirurgiens tirillés entre les deux familles se rassurent au moins pour leurs patientes en situation asymétrique post-opératoire : il existe une profusion de blogs de maquillage pour sculpture de la pommette. Toute asymétrie dépassant notre mystérieux seuil peut être réparée par cet artifice ! (Remarquez aussi que si ces blushs ou autres fards existent c'est bien que, de base, les jolies dames ont des imperfections et peut-être des asymétries à cacher.)*

*Voyez en plus à quel point la technique de camouflage féminin est élaborée.*



*Mode d'emploi du maquillage des pommettes : « contouring et strobing »  
Source : Magazine Cosmopolitan*

*En revanche le maquillage n'évite que temporairement la reprise chirurgicale...*

A ce jour, les obligations de moyen vis à vis de nos patients, ainsi que les recommandations de la Haute Autorité de Santé n'incorporent pas la tomographie per-opératoire dans la prise en charge des fractures chirurgicales du massif facial. Le contrôle radiologique post-opératoire devra se faire sur MSCT (en cas de fractures multiples de la face, ou de fracture très comminutive du zygoma) ou sur CBCT (moins irradiant qu'un scanner) pour utiliser notre méthode ostéométrique de contrôle. Le contrôle radiographique est moins précis que la tomographie mais reste une méthode simple et concise de vérification de la réparation du complexe zygomatique et est moins irradiante qu'un CBCT.

Notre travail d'ostéométrie aura permis de mettre en avant la symétrie théorique du complexe zygomatique sans en faire une vérité générale. Il aura permis de comprendre la projection de la pommette et son implication en chirurgie esthétique et en traumatologie maxillo-faciale. A travers notre étude géométrique confrontée à des images en miroir, nous confirmons les bénéfices de la tomographie per-opératoire. En revanche, nous n'avons pas élucidé tous les mystères de la pommette, notamment les relations entre os et parties molles.

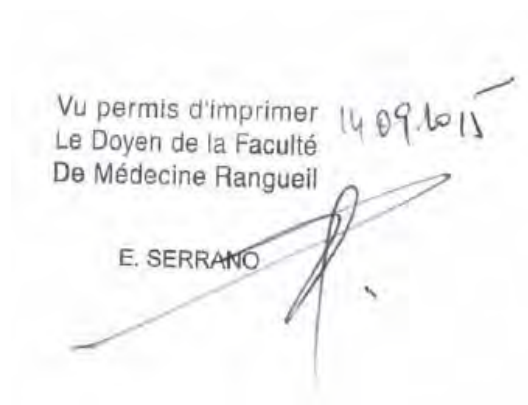
**Le culte de la pommette peut donc perdurer et susciter de nouvelles questions.**

*« On sourit aux distractions des mathématiciens. On frémit en songeant à celles que pourraient avoir un chirurgien » Sacha Guitry.*

**Signature de Mr le Président du Jury, Pr BOUTAULT Franck**

A handwritten signature in black ink, consisting of a vertical line on the left, a horizontal line across the middle, and a large, stylized 'B' on the right.

(Thèse signée électroniquement le 1 septembre 2015)

A rectangular stamp with the text "Vu permis d'imprimer" on the first line, "Le Doyen de la Faculté" on the second line, and "De Médecine Rangueil" on the third line. To the right of the stamp, the date "14 09 2015" is handwritten. Below the stamp, the name "E. SERRANO" is printed, and a handwritten signature in black ink is written over it.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Mendelson BC, Jacobson SR. Surgical anatomy of the midcheek: facial layers, spaces, and the midcheek segments. *Clin Plast Surg.* juill 2008;35(3):395-404; discussion 393.
2. Goldberg M, Opsahl Vital S, Barbet P. Embryologie cranio-faciale (II). Embryologie de la face et des structures squelettiques céphaliques : morphogénèse des maxillaires, de la mandibule et du crâne. EMC Stomatologie. 2013;
3. Kamina P. Développement de la tête osseuse. In: Anatomie clinique. Maloine. 2011.
4. Kamina P. Os de la face. In: Anatomie clinique. Maloine. 2011.
5. Couly G. Anatomie du massif facial. Elsevier Masson. Paris; 2008;
6. Kelley P, Hopper R, Gruss J. Evaluation and Treatment of Zygomatic Fractures: *Plast Reconstr Surg.* déc 2007;120(Supplement 2):5S - 15S.
7. Kamina P. Tête osseuse en général. In: Anatomie clinique. Maloine. 2011.
8. Dillenseger J. Tête et cou. In: Atlas d'anatomie générale et radiologique. Elsevier Masson. 2011.
9. Kamina P. Cavités et fosses de la tête osseuse. In: Anatomie clinique. Maloine. 2011.
10. Karli P. Le cerveau et la liberté. Odile Jacob; 1995.
11. Burgaleta M, Alvarez-Linera J, Martinez K, Escorial S, Haier R, Colom R. Sex differences in brain volume are related to specific skills, not to general intelligence. 2012;Vol. 40.
12. Gola R, Cheynet F, Guyot L, Richart O. Analyse céphalométrique fonctionnelle et esthétique de profil. Elsevier Masson. Paris; 2005;
13. Bennacoœur S, Petavy-Blanc A-S, Chauve J, Louafi S, Hanss J. Morphologie céphalique humaine. Données anthropométriques du vivant. Elsevier Masson. Paris; 2005;
14. Définition > Morphométrie géométrique [Internet]. [cité 22 juill 2015]. Disponible sur: <http://www.futura-sciences.com/magazines/nature/infos/dico/d/zoologie-morphometrie-geometrique-13589/>
15. Définition de ostéométrie - Encyclopædia Universalis [Internet]. [cité 22 juill 2015]. Disponible sur: <http://www.universalis.fr/dictionnaire/osteometrie/>
16. Pons J, Bellavoir A. Traumatologie faciale. Expansion Scientifique Française. Paris; 1988.
17. Weinmann I, Sicher H. Bone and bones : fundamentals of bone biology. London: Kimeton; 1955.
18. Sicher. Oral Anatomy. Saint-Louis. 1949.
19. Ombredanne L. Maladie des mâchoires. Paris: Baillière; 1909.
20. Peynègre R, Strunski V. Les traumatismes du tiers moyen de la face. Elsevier Masson. Paris; 1988;
21. Lefort R. Etude expérimentale sur les fractures de la mâchoire supérieure. Parts I, II, III. *Rev Chir.* 1901;(23).
22. Lebeau J. Anatomie crânio-faciale. In: Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie. Elsevier Masson. 2011.
23. Gillies H, Kilner T, Stone D. Fracture of the malarzygomatic compound, with a description of new X-Ray position. 1927;14.
24. Boffano P, Rocca F, Zavattero E, Dediol E, Uglešić V, Kovačić Ž, et al. European Maxillofacial Trauma (EURMAT) project: A multicentre and prospective study. *J Cranio-Maxillofac Surg.* janv 2015;43(1):62-70.

25. Carlin CB, Ruff G, Mansfeld CP, Clinton MS. Facial fractures and related injuries: a ten-year retrospective analysis. *J Cranio-Maxillofac Trauma*. 1998;4(2):44- 8; discussion 43.
26. Knight JS, North JF. The classification of malar fractures: an analysis of displacement as a guide to treatment. *Br J Plast Surg*. janv 1961;13:325- 39.
27. Zingg M, Laedrach K, Chen J, Chowdhury K, Vuillemin T, Sutter F, et al. Classification and treatment of zygomatic fractures: A review of 1,025 cases. *J Oral Maxillofac Surg*. août 1992;50(8):778- 90.
28. Mesleman D, Kellman RM. ZYGomaticomaxillary complex fractures. *Arch Facial Plast Surg*. 1 janv 2012;14(1):62- 6.
29. Brignol L, Guyot L, Chossegros C. *Fracture des maxillaires*. Elsevier Masson. Paris; 2010;
30. Schjelderup H. Fractures of the upper and middle thirds of the facial skeleton. *Acta Chir Scand*. 1950;99(5):445- 71.
31. Rowe N, Killey H. *Fractures of the facial skeleton*. 1968;
32. Yanagisawa E. Symposium on maxillo-facial trauma. 3. Pitfalls in the management of zygomatic fractures. *The Laryngoscope*. avr 1973;83(4):527- 46.
33. Larsen OD, Thomsen M. Zygomatic fractures. II. A follow-up study of 137 patients. *Scand J Plast Reconstr Surg*. 1978;12(1):59- 63.
34. Fujii N, Yamashiro M. Classification of malar complex fractures using computed tomography. *J Oral Surg*. 1983;41:562- 7.
35. Ellis E, el-Attar A, Moos KF. An analysis of 2,067 cases of zygomatico-orbital fracture. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. juin 1985;43(6):417- 28.
36. Manson PN, Markowitz B, Mirvis S, Dunham M, Yaremchuk M. Toward CT-based facial fracture treatment. *Plast Reconstr Surg*. févr 1990;85(2):202- 12; discussion 213- 4.
37. Özyazgan İ, Günay GK, Eskitaşçıoğlu T, Özköse M, Çoruh A. A New Proposal of Classification of Zygomatic Arch Fractures. *J Oral Maxillofac Surg*. mars 2007;65(3):462- 9.
38. Ogata H, Sakamoto Y, Kishi K. A New Classification of Zygomatic Fracture Featuring Zygomaticofrontal Suture: Injury Mechanism and a Guide to Treatment. *Plast Surg Int J*. 1 mars 2013;1- 6.
39. Lebeau J. *Traumatologie maxillo-faciale*. In: *Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie*. Elsevier Masson; 2011.
40. Haute Autorité de Santé. *Indications de la radiographie du crâne et/ou du massif facial*. 2008.
41. Tanrikulu R, Erol B. Comparison of computed tomography with conventional radiography for midfacial fractures. *Dento Maxillo Facial Radiol*. mai 2001;30(3):141- 6.
42. Widmann G, Dalla Torre D, Hoermann R, Schullian P, Gassner EM, Bale R, et al. Ultralow-dose computed tomography imaging for surgery of midfacial and orbital fractures using ASIR and MBIR. *Int J Oral Maxillofac Surg*. avr 2015;44(4):441- 6.
43. Haute Autorité de Santé. *Tomographie à faisceau conique de la face (Cone Beam Computerized tomography)*. 2009.
44. De Vos W, Casselman J, Swennen GRJ. Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: A systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg*. juin 2009;38(6):609- 25.
45. Bailey J-S, Goldwasser M-S. Management of zygomatic complex fractures. In: *Peterson's principles of Oral and Maxillofacial Surgery*. BC Decker Inc. Hamilton London: Michael Miloro; 2004.
46. Smith HW. FRACTURE-DISLOCATION OF THE ZYGOMA AND ZYGOMATIC ARCH. *Conn Med*. sept 1963;27:539- 47.

47. Goldthwaite R. Plastic repair of depressed fracture of lower orbital rim. 1924;82.
48. Kazanjian V, Converse J. The surgical treatment of facial injuries. Baltimore: William and Wilkins; 1927.
49. Zachariades N, Mezitis M, Anagnostopoulos D. Changing trends in the treatment of zygomaticomaxillary complex fractures: a 12-year evaluation of methods used. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* oct 1998;56(10):1152-6; discussion 1156-7.
50. Midface - Surgical approach - Zygoma, Zygomatic complex fracture - AO Surgery Reference
51. Midface - Treatment - Zygoma, Zygomatic complex fracture - AO Surgery Reference
52. Assaël L., Klotch D., Manson PN, Prein J, Rahn B., Schilli W. Craniofacial fracture. In: *Manuel of internal fixation in the cranio-facial skeleton, Techniques recommended by the AO/ASIF Maxillofacial groupe.* Springer. Berlin Heidelberg New York: J. Prein; 1998.
53. Gruss JS, Bubak PJ, Egbert MA. Craniofacial fractures. An algorithm to optimize results. *Clin Plast Surg.* janv 1992;19(1):195-206.
54. Kelly KJ, Manson PN, Vander Kolk CA, Markowitz BL, Dunham CM, Rumley TO, et al. Sequencing LeFort fracture treatment (Organization of treatment for a panfacial fracture). *J Craniofac Surg.* oct 1990;1(4):168-78.
55. Ellis E, Kittidumkerng W. Analysis of treatment for isolated zygomaticomaxillary complex fractures. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* avr 1996;54(4):386-400; discussion 400-1.
56. Ellis E, Perez D. An Algorithm for the Treatment of Isolated Zygomatico-Orbital Fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* oct 2014;72(10):1975-83.
57. Dingman R, Natvig P. *Surgery of facial fractures.* W.B Saunders. Philadelphia; 1964.
58. Uglesić V, Virag M. A method of zygomatic arch stabilization. *Br J Oral Maxillofac Surg.* déc 1994;32(6):396-7.
59. Thomson ER. A simple zygomatic splint. *Br Dent J.* 22 oct 1983;155(8):257.
60. Kung DS, Kaban LB. Supratarsal fold incision for approach to the superior lateral orbit. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* mai 1996;81(5):522-5.
61. Ellis E, Zide M. *Surgical approaches to the facial skeleton.* William and Wilkins. Baltimore; 1995.
62. Phillips JH, Gruss JS, Wells MD, Chollet A. Periosteal suspension of the lower eyelid and cheek following subciliary exposure of facial fractures. *Plast Reconstr Surg.* juill 1991;88(1):145-8.
63. Wray RC, Holtmann B, Ribaldo JM, Keiter J, Weeks PM. A comparison of conjunctival and subciliary incisions for orbital fractures. *Br J Plast Surg.* avr 1977;30(2):142-5.
64. Holtmann B, Wray RC, Little AG. A randomized comparison of four incisions for orbital fractures. *Plast Reconstr Surg.* juin 1981;67(6):731-7.
65. Mullins JB, Holds JB, Branham GH, Thomas JR. Complications of the transconjunctival approach. A review of 400 cases. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* avr 1997;123(4):385-8.
66. Suga H, Sugawara Y, Uda H, Kobayashi N. The transconjunctival approach for orbital bony surgery: in which cases should it be used? *J Craniofac Surg.* mai 2004;15(3):454-7.
67. Raschke GF, Rieger UM, Bader R-D, Schaefer O, Guentsch A, Schultze-Mosgau S. Transconjunctival versus subciliary approach for orbital fracture repair--an anthropometric evaluation of 221 cases. *Clin Oral Investig.* avr 2013;17(3):933-42.
68. Gruss JS, Van Wyck L, Phillips JH, Antonyshyn O. The importance of the zygomatic arch in complex midfacial fracture repair and correction of posttraumatic orbitozygomatic

deformities. *Plast Reconstr Surg.* juin 1990;85(6):878-90.

69. Rohner D, Tay A, Meng CS, Hutmacher DW, Hammer B. The sphenozygomatic suture as a key site for osteosynthesis of the orbitozygomatic complex in panfacial fractures: a biomechanical study in human cadavers based on clinical practice. *Plast Reconstr Surg.* nov 2002;110(6):1463-71; discussion 1472-5.

70. Ono MCC, Ono SE, de Oliveira e Cruz GA, da Silva Freitas R, Matias JEF, Campos ACL. Closed reduction and percutaneous Kirschner wire fixation in the treatment of simple zygoma fractures: orbital volumetric outcomes. *J Craniofac Surg.* juill 2014;25(4):1404-7.

71. Bezuhly M, Lalonde J, Alqahtani M, Sparkes G, Lalonde DH. Gillies elevation and percutaneous Kirschner wire fixation in the treatment of simple zygoma fractures: long-term quantitative outcomes. *Plast Reconstr Surg.* mars 2008;121(3):948-55.

72. Moreno EFC, Vasconcelos BC do E, Carneiro SC de AS, Catunda IS, Melo AR. Evaluation of fixation techniques with titanium plates and Kirschner wires for zygoma fractures: preliminary study. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* oct 2012;70(10):2386-93.

73. Giraud O, Duhamel P, Seigneuric J, Cantaloube D. *Traumatologie maxillo-faciale : modalités thérapeutiques.* Elsevier Masson. Paris; 2002;

74. Shumrick KA, Campbell AC. Management of the orbital rim and floor in zygoma and midface fractures: criteria for selective exploration. *Facial Plast Surg FPS.* 1998;14(1):77-81.

75. Fujioka M, Yamamoto T, Miyazato O, Nishimura G. Stability of one-plate fixation for zygomatic bone fracture. *Plast Reconstr Surg.* févr 2002;109(2):817-8.

76. Yonehara Y, Hirabayashi S, Tachi M, Ishii H. Treatment of zygomatic fractures without inferior orbital rim fixation. *J Craniofac Surg.* mai 2005;16(3):481-5.

77. Czerwinski M, Martin M, Lee C. Quantitative comparison of open reduction and internal fixation versus the Gillies method in the treatment of orbitozygomatic complex fractures. *Plast Reconstr Surg.* juin 2005;115(7):1848-54; discussion 1855-7.

78. Stuck BA, Hülse R, Barth TJ. Intraoperative cone beam computed tomography in the management of facial fractures. *Int J Oral Maxillofac Surg.* oct 2012;41(10):1171-5.

79. Gülicher D, Krimmel M, Reinert S. The role of intraoperative ultrasonography in zygomatic complex fracture repair. *Int J Oral Maxillofac Surg.* mars 2006;35(3):224-30.

80. McCann PJ, Brocklebank LM, Ayoub AF. Assessment of zygomatico-orbital complex fractures using ultrasonography. *Br J Oral Maxillofac Surg.* oct 2000;38(5):525-9.

81. Tonami H, Nakagawa T, Ohguchi M, Takarada A, Yamamoto I, Karino K, et al. Surface coil MR imaging of orbital blowout fractures: a comparison with reformatted CT. *AJNR Am J Neuroradiol.* juin 1987;8(3):445-9.

82. Tonami H, Yamamoto I, Matsuda M, Tamamura H, Yokota H, Nakagawa T, et al. Orbital fractures: surface coil MR imaging. *Radiology.* juin 1991;179(3):789-94.

83. Midface - Treatment - CAS: Intraoperative imaging - Zygoma, Zygomatic complex fracture AO Surgery Reference-

84. Czerwinski M, Martin M, Lee C. Quantitative comparison of open reduction and internal fixation versus the Gillies method in the treatment of orbitozygomatic complex fractures. *Plast Reconstr Surg.* juin 2005;115(7):1848-54; discussion 1855-7.

85. Czerwinski M, Parker WL, Beckman L, Williams HB. Rapid Intraoperative Zygoma Fracture Imaging. *Plast Reconstr Surg.* sept 2009;124(3):888-98.

86. Czerwinski M. C-arm assisted zygoma fracture repair: a critical analysis of the first 20 cases. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* avr 2015;73(4):692.e1-8.

87. Van Hout WMMT, Van Cann EM, Muradin MSM, Frank MH, Koole R. Intraoperative imaging for the repair of zygomaticomaxillary complex fractures: A

- comprehensive review of the literature. *J Cranio-Maxillofac Surg.* déc 2014;42(8):1918- 23.
88. Midface - Treatment - CAS: Virtual planning and intraoperative navigation - Zygoma, Zygomatic complex fracture - AO Surgery Reference 89. He Y, Zhang Y, An J, Gong X, Feng Z, Guo C. Zygomatic Surface Marker-Assisted Surgical Navigation: A New Computer-Assisted Navigation Method for Accurate Treatment of Delayed Zygomatic Fractures. *J Oral Maxillofac Surg.* déc 2013;71(12):2101- 14.
90. Hassfeld S, Mühling J, Zöller J. Intraoperative navigation in oral and maxillofacial surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* févr 1995;24(1 Pt 2):111- 9.
91. Ewers R, Schicho K, Undt G, Wanschitz F, Truppe M, Seemann R, et al. Basic research and 12 years of clinical experience in computer-assisted navigation technology: a review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* janv 2005;34(1):1- 8.
92. Mischkowski RA, Zinser MJ, Ritter L, Neugebauer J, Keeve E, Zöller JE. Intraoperative navigation in the maxillofacial area based on 3D imaging obtained by a cone-beam device. *Int J Oral Maxillofac Surg.* août 2007;36(8):687- 94.
93. Scolozzi P, Terzic A. « Mirroring » Computational Planning, Navigation Guidance System, and Intraoperative Mobile C-Arm Cone-Beam Computed Tomography With Flat-Panel Detector: A New Rationale in Primary and Secondary Treatment of Midfacial Fractures? *J Oral Maxillofac Surg.* juin 2011;69(6):1697- 707.
94. Heiland M, Schulze D, Blake F, Schmelzle R. Intraoperative imaging of zygomaticomaxillary complex fractures using a 3D C-arm system. *Int J Oral Maxillofac Surg.* juin 2005;34(4):369- 75.
95. Baek R-M, Lee SW. Face Lift with Reposition Malarplasty: *Plast Reconstr Surg.* févr 2009;123(2):701- 8.
96. Hwang YJ, Jeon JY, Lee MS. A simple method of reduction malarplasty. *Plast Reconstr Surg.* févr 1997;99(2):348- 55.
97. Uhm KI, Lew JM. Prominent zygoma in Orientals: classification and treatment. *Ann Plast Surg.* févr 1991;26(2):164- 70.
98. Song WC, Choi HG, Kim SH, Kim SH, Hu KS, Kim HJ, et al. Topographic anatomy of the zygomatic arch and temporal fossa: a cadaveric study. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg JPRAS.* nov 2009;62(11):1375- 8.
99. Nagasao T, Nakanishi Y, Shimizu Y, Hatano A, Miyamoto J, Fukuta K, et al. An Anatomical Study on the Position of the Summit of the Zygoma: Theoretical Bases for Reduction Malarplasty. *Plast Reconstr Surg.* nov 2011;128(5):1127- 38.
100. Hinderer UT. Malar implants for improvement of the facial appearance. *Plast Reconstr Surg.* août 1975;56(2):157- 65.
101. Mladick RA. Alloplastic cheek augmentation. *Clin Plast Surg.* janv 1991;18(1):29- 38.
102. Powell NB, Riley RW, Laub DR. A new approach to evaluation and surgery of the malar complex. *Ann Plast Surg.* mars 1988;20(3):206- 14.
103. Gola R, Richard O, Guyot L, Layoun W. Intérêt de la valgisation fonctionnelle des malaires dans les faces étroites. *Ann Chir Plast Esthet.* 2006;51:74- 81.
104. Lee K-C, Ha S-U, Park J-M, Kim S-K, Park S-H, Kim J-H. Reduction malarplasty by 3-mm percutaneous osteotomy. *Aesthetic Plast Surg.* juin 2006;30(3):333- 41.
105. Lee HY, Yang HJ, Cho YN. Minimally invasive zygoma reduction. *Plast Reconstr Surg.* mai 2006;117(6):1972- 9.
106. Sumiya N, Ito Y, Ozumi K. Reduction malarplasty. *Plast Reconstr Surg.* 15 avr 2004;113(5):1497- 9.
107. Baek SM, Chung YD, Kim SS. Reduction malarplasty. *Plast Reconstr Surg.* juill 1991;88(1):53- 61.
108. Satoh K, Ohkubo F, Tsukagoshi T. Consideration of operative procedures for

- zygomatic reduction in Orientals: based on a consecutive series of 28 clinical cases. *Plast Reconstr Surg.* nov 1995;96(6):1298-306.
109. Kim YH, Seul JH. Reduction malarplasty through an intraoral incision: a new method. *Plast Reconstr Surg.* déc 2000;106(7):1514-9.
110. Hong SE, Liu SY, Kim JT, Lee JH. Intraoral Zygoma Reduction Using L-shaped Osteotomy. *J Craniofac Surg.* mai 2014;25(3):758-61.
111. Wang T, Gui L, Tang X, Liu J, Yu D, Peng Z, et al. Reduction malarplasty with a new L-shaped osteotomy through an intraoral approach: retrospective study of 418 cases. *Plast Reconstr Surg.* oct 2009;124(4):1245-53.
112. Wolfe SA, Vitenas P. Malar augmentation using autogenous materials. *Clin Plast Surg.* janv 1991;18(1):39-54.
113. Denny AD, Rosenberg MW. Malar augmentation by osteotomy and advancement. *J Craniofac Surg.* oct 1993;4(4):257-64; discussion 265.
114. Powell NB, Riley RW. Cranial bone grafting in facial aesthetic and reconstructive contouring. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* juill 1987;113(7):713-9.
115. Blanc JL, Lagier JP, Gras R, Bremont D, Peyron JN, Lachard J. [A technic for osteotomy of the malar bone]. *Rev Stomatol Chir Maxillofac.* 1985;86(2):111-3.
116. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol.* 1998;8(9):1558-64.
117. Ziegler CM, Woertche R, Brief J, Hassfeld S. Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery. *Dento Maxillo Facial Radiol.* mars 2002;31(2):126-30.
118. Sukovic P. Cone beam computed tomography in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res.* 2003;6 Suppl 1:31-6; discussion 179-82.
119. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc.* févr 2006;72(1):75-80.
120. Cohnen M, Kemper J, Möbes O, Pawelzik J, Mödder U. Radiation dose in dental radiology. *Eur Radiol.* mars 2002;12(3):634-7.
121. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL. Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. *Dento Maxillo Facial Radiol.* juill 2003;32(4):229-34.
122. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dento Maxillo Facial Radiol.* juill 2006;35(4):219-26.
123. Flinzberg S, Schmelzle R, Schulze D, Rother U, Heiland M. [3-dimensional imaging possibilities of the mid-face area using digital volume tomography based on a daver study of angle stable osteosynthesis]. *Mund- Kiefer- Gesichtschirurgie MKG.* sept 2003;7(5):289-93.
124. Hoffmann J, Krimmel M, Dammann F, Reinert S. [Feasibility of intraoperative diagnosis with a mobile computed tomography scanner]. *Mund- Kiefer- Gesichtschirurgie MKG.* sept 2002;6(5):346-50.
125. Hoffmann J, Dammann F, Troitzsch D, Krimmel M, Gülicher D, Reinert S. [Intraoperative computer tomography control within the scope of maxillofacial traumatology using a mobile scanner]. *Biomed Tech (Berl).* juin 2002;47(6):155-8.
126. Hoelzle F, Klein M, Schwerdtner O, Lueth T, Albrecht J, Hosten N, et al. Intraoperative computed tomography with the mobile CT Tomoscan M during surgical treatment of orbital fractures. *Int J Oral Maxillofac Surg.* févr 2001;30(1):26-31.
127. Manson PN. Computed tomography use and repair of orbitozygomatic fractures. *Arch Facial Plast Surg.* mars 1999;1(1):25-6.



128. Manson PN, Clark N, Robertson B, Crawley WA. Comprehensive management of pan-facial fractures. *J Cranio-Maxillofac Trauma*. 1995;1(1):43-56.
129. Sanno T, Tahara S, Nomura T, Hashikawa K. Endoscopic endonasal reduction for blowout fracture of the medial orbital wall. *Plast Reconstr Surg*. oct 2003;112(5):1228-37; discussion 1238.
130. Wilde F, Lorenz K, Ebner A-K, Krauss O, Mascha F, Schramm A. Intraoperative imaging with a 3D C-arm system after zygomatico-orbital complex fracture reduction. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. mai 2013;71(5):894-910.
131. Heiland M, Schulze D, Rother U, Schmelzle R. Postoperative imaging of zygomaticomaxillary complex fractures using digital volume tomography. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. nov 2004;62(11):1387-91.
132. Farkas LG. *Anthropometry of the Head and Face*. Raven Press. New-York;
133. Furst IM, Austin P, Pharoah M, Mahoney J. The use of computed tomography to define zygomatic complex position. *J Oral Maxillofac Surg*. juin 2001;59(6):647-54.
134. Gong X, He Y, He Y, An J, Yang Y, Zhang Y. Quantitation of zygomatic complex symmetry using 3-dimensional computed tomography. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. oct 2014;72(10):2053.e1-8.
135. Meyer-Marcotty P, Alpers GW, Gerdes ABM, Stellzig-Eisenhauer A. Impact of facial asymmetry in visual perception: a 3-dimensional data analysis. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. févr 2010;137(2):168.e1-8; discussion 168-9.
136. Moubayed SP, Duong F, Ahmarani C, Rahal A. A novel technique for malar eminence evaluation using 3-dimensional computed tomography. *Arch Facial Plast Surg*. nov 2012;14(6):403-7.
137. Nechala P, Mahoney J, Farkas LG. Maxillozygional anthropometric landmark: a new morphometric orientation point in the upper face. *Ann Plast Surg*. oct 1998;41(4):402-9.
138. He Y, Zhang Y, An J, Gong X, Feng Z, Guo C. Zygomatic surface marker-assisted surgical navigation: a new computer-assisted navigation method for accurate treatment of delayed zygomatic fractures. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. déc 2013;71(12):2101-14.
139. Pham AM, Rafii AA, Metzger MC, Jamali A, Strong EB. Computer modeling and intraoperative navigation in maxillofacial surgery. *Otolaryngol--Head Neck Surg Off J Am Acad Otolaryngol-Head Neck Surg*. oct 2007;137(4):624-31.
140. Bogusiak K, Arkuszewski P. Characteristics and epidemiology of zygomaticomaxillary complex fractures. *J Craniofac Surg*. juill 2010;21(4):1018-23.
141. Hwang K, Kim DH. Analysis of zygomatic fractures. *J Craniofac Surg*. juill 2011;22(4):1416-21.
142. Toriumi M, Nagasao T, Itamiya T, Shimizu Y, Yasudo H, Sakamoto Y, et al. 3-D analysis of dislocation in zygoma fractures. *J Cranio-Maxillofac Surg*. juill 2014;42(5):397-402.
143. Rohrich RJ, Hollier LH, Watumull D. Optimizing the management of orbitozygomatic fractures. *Clin Plast Surg*. janv 1992;19(1):149-65.
144. Olate S, Lima SM, Sawazaki R, Moreira RWF, de Moraes M. Surgical approaches and fixation patterns in zygomatic complex fractures. *J Craniofac Surg*. juill 2010;21(4):1213-7.
145. Olate S, Lima SM, Sawazaki R, Moreira RWF, de Moraes M. Variables related to surgical and nonsurgical treatment of zygomatic complex fracture. *J Craniofac Surg*. juill 2011;22(4):1200-2.
146. Barry CP, Ryan WJ, Stassen LFA. Anatomical Study of Factors Contributing to Zygomatic Complex Fracture Instability in Human Cadavers: *Plast Reconstr Surg*. févr

2007;119(2):637-40.

147. Kurita M, Okazaki M, Ozaki M, Tanaka Y, Tsuji N, Takushima A, et al. Patient satisfaction after open reduction and internal fixation of zygomatic bone fractures. *J Craniofac Surg.* janv 2010;21(1):45-9.

148. Dillenseger J-P, Matern J-F, Gros C-I, Bornert F, Goetz C, Le Minor J-M, et al. MSCT versus CBCT: evaluation of high-resolution acquisition modes for dento-maxillary and skull-base imaging. *Eur Radiol.* févr 2015;25(2):505-15.

**OSTEOMETRIE TOMOGRAPHIQUE DE L'OS ZYGOMATIQUE SUR  
TOMODENSITOMETRIE ET CONE BEAM APPLIQUEE A LA  
TRAUMATOLOGIE DU MASSIF FACIAL : ETUDE PRELIMINAIRE  
RETROSPECTIVE SUR 28 PATIENTS DU CHU DE TOULOUSE**

Toulouse, le 9 octobre 2015

---

**Introduction.** L'étude ostéométrique du zygoma, succincte à ce jour, est susceptible de trouver une application dans le contrôle tomographique per et post-opératoire des fractures du complexe zygomatique. L'objectif est d'évaluer la fiabilité et la reproductibilité d'un référentiel considérant le sommet, la morphologie et la symétrie du zygoma, puis sa pertinence dans la réparation des fractures zygomatiques.

**Matériel et Méthodes.** L'étude tomographique a été réalisée avec le logiciel Osirixlite®, Macintosh®, version 6.5.1. 30 TDM normales et 27 TDM et 1 CB pré-opératoires, 6 TDM et 22 CB post opératoires de 28 patients présentant une fracture unilatérale du zygoma ont été étudiées. 3 mesures étaient placées sur une coupe axiale, dans le plan de Francfort, recentrée, incluant la totalité du complexe et passant par le foramen infra-orbitaire : S, distance au sommet du zygoma,  $\alpha S$ , angle au sommet par rapport à l'axe de symétrie passant par le clivus et  $\alpha Z$ , angle morphologique. **Résultats.** S,  $\alpha S$ ,  $\alpha Z$  sont fiables et reproductibles et évaluent la symétrie zygomatique. Les asymétries post-opératoires sont dues au mauvais rétablissement de S,  $p=0,0216$ . **Conclusion.** Notre référentiel peut-être utilisé indifféremment sur TDM et CB dans les contrôles per et post-opératoires et objective les asymétries osseuses résiduelles.

---

TITRE EN ANGLAIS : Zygoma tomographic osteometry on MSCT and CBCT applied to facial bones trauma: retrospective preliminary study on 28 patients at the University hospital of Toulouse

---

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Médecine spécialisée clinique

---

MOTS-CLÉS : os zygomatique, ostéométrie, symétrie, fracture, sommet os zygomatique, tomodensitométrie, cone beam

---

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :  
Université Toulouse III-Paul Sabatier  
Faculté de médecine Toulouse-Purpan,  
37 Allées Jules Guesde 31000 Toulouse

---

Directeur de thèse : Pr Frédéric LAUWERS