

UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTÉS DE MÉDECINE

ANNÉE 2019

2019 TOU3 1525

THÈSE

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

Présentée et soutenue publiquement

par

Alice PREVOST

le 05 Avril 2019

MORPHOMÉTRIE MANDIBULAIRE :
DE LA MODÉLISATION À LA PRATIQUE CLINIQUE

Directeur de thèse : Dr Franck Delanoë

JURY

Monsieur le Professeur Frédéric LAUWERS

Président

Monsieur le Professeur Franck BOUTAULT

Assesseur

Monsieur le Professeur Raphaël LOPEZ

Assesseur

Monsieur le Docteur Franck DELANOË

Assesseur

Monsieur le Docteur Samuel MULLER

Suppléant



FACULTÉ DE MÉDECINE PURPAN

TABLEAU du PERSONNEL HU
des Facultés de Médecine de l'Université Paul Sabatier Toulouse III
au 1^{er} septembre 2018

Professeurs Honoraires

Doyen Honoraire	M. CHAP Hugues	Professeur Honoraire	M. FREXINOS Jacques
Doyen Honoraire	M. GUIRAUD-CHAUMEIL Bernard	Professeur Honoraire	Mme GENESTAL Michèle
Doyen Honoraire	M. LAZORTHES Yves	Professeur Honoraire	M. GERAUD Gilles
Doyen Honoraire	M. PUEL Pierre	Professeur Honoraire	M. GHISOLFI Jacques
Doyen Honoraire	M. ROUGE Daniel	Professeur Honoraire	M. GOUZI Jean-Louis
Doyen Honoraire	M. VINEL Jean-Pierre	Professeur Honoraire	M. GUIRAUD CHAUMEIL Bernard
Professeur Honoraire	M. ABBAL Michel	Professeur Honoraire	M. HOFF Jean
Professeur Honoraire	M. ADER Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. JOFFRE Francis
Professeur Honoraire	M. ALBAREDE Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. LACOMME Yves
Professeur Honoraire	M. ARBUS Louis	Professeur Honoraire	M. LAGARRIGUE Jacques
Professeur Honoraire	M. ARLET Jacques	Professeur Honoraire	Mme LARENG Marie-Blanche
Professeur Honoraire	M. ARLET Philippe	Professeur Honoraire	M. LARENG Louis
Professeur Honoraire	M. ARLET-SUAU Elisabeth	Professeur Honoraire	M. LAURENT Guy
Professeur Honoraire	M. ARNE Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. LAZORTHES Franck
Professeur Honoraire	M. BARRET André	Professeur Honoraire	M. LAZORTHES Yves
Professeur Honoraire	M. BARTHE Philippe	Professeur Honoraire	M. LEOPHONTE Paul
Professeur Honoraire	M. BAYARD Francis	Professeur Honoraire	M. MAGNAVAL Jean-François
Professeur Honoraire	M. BOCCALON Henri	Professeur Honoraire	M. MANELFE Claude
Professeur Honoraire	M. BONAFÉ Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. MANSAT Michel
Professeur Honoraire	M. BONEU Bernard	Professeur Honoraire	M. MASSIP Patrice
Professeur Honoraire	M. BOUNHOURE Jean-Paul	Professeur Honoraire	Mme MARTY Nicole
Professeur Honoraire	M. BOUTAULT Franck	Professeur Honoraire	M. MAZIERES Bernard
Professeur Honoraire	M. BUGAT Roland	Professeur Honoraire	M. MONROZIES Xavier
Professeur Honoraire	M. CAHUZAC Jean-Philippe	Professeur Honoraire	M. MOSCOVICI Jacques
Professeur Honoraire	M. CARATERO Claude	Professeur Honoraire	M. MURAT
Professeur Honoraire	M. CARLES Pierre	Professeur Honoraire	M. OLIVES Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. CARRIERE Jean-Paul	Professeur Honoraire	M. PAGES B.
Professeur Honoraire	M. CARTON Michel	Professeur Honoraire	M. PASCAL Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. CATHALA Bernard	Professeur Honoraire	M. PESSEY Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. CHABANON Gérard	Professeur Honoraire	M. PLANTE Pierre
Professeur Honoraire	M. CHAMONTIN Bernard	Professeur Honoraire	M. PONTONNIER Georges
Professeur Honoraire	M. CHAP Hugues	Professeur Honoraire	M. POURRAT Jacques
Professeur Honoraire	M. CHAVOIN Jean-Pierre	Professeur Honoraire	M. PRADERE Bernard
Professeur Honoraire	M. CLANET Michel	Professeur Honoraire	M. PRIS Jacques
Professeur Honoraire	M. CONTE Jean	Professeur Honoraire	Mme PUEL Jacqueline
Professeur Honoraire	M. COSTAGLIOLA Michel	Professeur Honoraire	M. PUEL Pierre
Professeur Honoraire	M. COTONAT Jean	Professeur Honoraire	M. PUJOL Michel
Professeur Honoraire	M. DABERNAT Henri	Professeur Honoraire	M. QUERLEU Denis
Professeur Honoraire	M. DALOUS Antoine	Professeur Honoraire	M. RAILHAC Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. DALY-SCHWEITZER Nicolas	Professeur Honoraire	M. REGIS Henri
Professeur Honoraire	M. DAVID Jean-Frédéric	Professeur Honoraire	M. REGNIER Claude
Professeur Honoraire	M. DELSOL Georges	Professeur Honoraire	M. REME Jean-Michel
Professeur Honoraire	Mme DELISLE Marie-Bernadette	Professeur Honoraire	M. ROCHE Henri
Professeur Honoraire	Mme DIDIER Jacqueline	Professeur Honoraire	M. ROCHICCIOLI Pierre
Professeur Honoraire	M. DUCOS Jean	Professeur Honoraire	M. ROLLAND Michel
Professeur Honoraire	M. DUFFAUT Michel	Professeur Honoraire	M. ROQUE-LATRILLE Christian
Professeur Honoraire	M. DUPRE M.	Professeur Honoraire	M. RUMEAU Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. DURAND Dominique	Professeur Honoraire	M. SALVADOR Michel
Professeur Honoraire associé	M. DUTAU Guy	Professeur Honoraire	M. SALVAYRE Robert
Professeur Honoraire	M. ESCANDE Michel	Professeur Honoraire	M. SARRAMON Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. ESCHAPASSE Henri	Professeur Honoraire	M. SIMON Jacques
Professeur Honoraire	M. ESCOURROU Jean	Professeur Honoraire	M. SUC Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. ESQUERRE J.P.	Professeur Honoraire	M. THOUVENOT Jean-Paul
Professeur Honoraire	M. FABIÉ Michel	Professeur Honoraire	M. TKACZUK Jean
Professeur Honoraire	M. FABRE Jean	Professeur Honoraire	M. TREMOULET Michel
Professeur Honoraire	M. FAUVEL Jean-Marie	Professeur Honoraire	M. VALDIGUIE Pierre
Professeur Honoraire	M. FOURNIAL Gérard	Professeur Honoraire	M. VAYSSE Philippe
Professeur Honoraire	M. FOURNIE Bernard	Professeur Honoraire	M. VIRENQUE Christian
Professeur Honoraire	M. FORTANIER Gilles	Professeur Honoraire	M. VOIGT Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. FRAYSSE Bernard		

Professeurs Émérites

Professeur ADER Jean-Louis
 Professeur ALBAREDE Jean-Louis
 Professeur ARBUS Louis
 Professeur ARLET-SUAU Elisabeth
 Professeur BOCCALON Henri
 Professeur BONEU Bernard
 Professeur CARATERO Claude
 Professeur CHAMONTIN Bernard
 Professeur CHAP Hugues
 Professeur CONTE Jean
 Professeur COSTAGLIOLA Michel
 Professeur DABERNAT Henri
 Professeur FRAYSSE Bernard
 Professeur DELISLE Marie-Bernadette
 Professeur GUIRAUD-CHAUMEIL Bernard
 Professeur JOFFRE Francis

Professeur LARENG Louis
 Professeur LAGARRIGUE Jacques
 Professeur LARENG Louis
 Professeur LAURENT Guy
 Professeur LAZORTHES Yves
 Professeur MAGNAVAL Jean-François
 Professeur MANELFE Claude
 Professeur MASSIP Patrice
 Professeur MAZIERES Bernard
 Professeur MOSCOVICI Jacques
 Professeur MURAT
 Professeur ROQUES-LATRILLE Christian
 Professeur SALVAYRE Robert
 Professeur SARRAMON Jean-Pierre
 Professeur SIMON Jacques

FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE-PURPAN

37 allées Jules Guesde - 31000 TOULOUSE

Doyen : D. CARRIE

P.U. - P.H. Classe Exceptionnelle et 1 ^{ère} classe		P.U. - P.H. 2 ^{ème} classe	
M. ADOUE Daniel (C.E)	Médecine Interne, Gériatrie	Mme BONGARD Vanina	Epidémiologie
M. AMAR Jacques (C.E)	Thérapeutique	M. BONNEVILLE Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique
M. ATTAL Michel (C.E)	Hématologie	M. BUREAU Christophe	Hépto-Gastro-Entéro
M. AVET-LOISEAU Hervé (C.E.)	Hématologie, transfusion	Mme CASPER Charlotte	Pédiatrie
Mme BEYNE-RAUZY Odile	Médecine Interne	Mme CHARPENTIER Sandrine	Médecine d'urgence
M. BIRMES Philippe	Psychiatrie	M. COGNARD Christophe	Neuroradiologie
M. BLANCHER Antoine	Immunologie (option Biologique)	M. LAIREZ Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
M. BONNEVILLE Paul (C.E)	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie.	M. LAROCHE Michel	Rhumatologie
M. BOSSAVY Jean-Pierre (C.E)	Chirurgie Vasculaire	M. LEOBON Bertrand	Chirurgie Thoracique et Cardiaque
M. BRASSAT David	Neurologie	M. LOPEZ Raphael	Anatomie
M. BROUCHET Laurent	Chirurgie thoracique et cardio-vascul	M. MARTIN-BLONDEL Guillaume	Maladies infectieuses, maladies tropicales
M. BROUSSET Pierre (C.E)	Anatomie pathologique	M. MARX Mathieu	Oto-rhino-laryngologie
M. CALVAS Patrick (C.E)	Génétique	M. MAS Emmanuel	Pédiatrie
M. CARRERE Nicolas	Chirurgie Générale	M. OLIVOT Jean-Marc	Neurologie
M. CARRIE Didier (C.E)	Cardiologie	M. PORTIER Guillaume	Chirurgie Digestive
M. CHAIX Yves	Pédiatrie	M. RONCALLI Jérôme	Cardiologie
M. CHAUVEAU Dominique	Néphrologie	Mme RUYSSSEN-WITRAND Adeline	Rhumatologie
M. CHOLLET François (C.E)	Neurologie	Mme SAVAGNER Frédérique	Biochimie et biologie moléculaire
M. DAHAN Marcel (C.E)	Chirurgie Thoracique et Cardiaque	M. SOL Jean-Christophe	Neurochirurgie
M. DE BOISSEZON Xavier	Médecine Physique et Réadapt Fonct.	Mme TREMOLLIERES Florence	Biologie du développement
M. DEGUINE Olivier (C.E)	Oto-rhino-laryngologie	Mme VEZZOSI Delphine	Endocrinologie
M. DUCOMMUN Bernard	Cancérologie		
M. FERRIERES Jean (C.E)	Epidémiologie, Santé Publique		
M. FOURCADE Olivier	Anesthésiologie		
M. FOURNIÉ Pierre	Ophtalmologie		
M. GAME Xavier	Urologie	P.U. Médecine générale	
M. GEERAERTS Thomas	Anesthésiologie et réanimation	M. MESTHÉ Pierre	
M. IZOPET Jacques (C.E)	Bactériologie-Virologie	M. OUSTRIC Stéphane	
Mme LAMANT Laurence (C.E)	Anatomie Pathologique		
M. LANG Thierry (C.E)	Biostatistiques et Informatique Médicale	Professeur Associé Médecine générale	
M. LANGIN Dominique (C.E)	Nutrition	M. ABITTEBOUL Yves	
M. LAUQUE Dominique (C.E)	Médecine Interne	M. POUTRAIN Jean-Christophe	
M. LIBLAU Roland (C.E)	Immunologie		
M. MALAVAUD Bernard	Urologie	Professeur Associé en Neurologie	
M. MANSAT Pierre	Chirurgie Orthopédique	Mme PAVY-LE TRAON Anne	
M. MARCHOU Bruno (C.E)	Maladies Infectieuses		
M. MAZIERES Julien	Pneumologie		
M. MOLINIER Laurent	Epidémiologie, Santé Publique		
M. MONTASTRUC Jean-Louis (C.E)	Pharmacologie		
Mme MOYAL Elisabeth	Cancérologie		
Mme NOURHASHEMI Fatemeh (C.E)	Gériatrie		
M. OSWALD Eric	Bactériologie-Virologie		
M. PARANT Olivier	Gynécologie Obstétrique		
M. PARIENTE Jérémie	Neurologie		
M. PARINAUD Jean (C.E)	Biol. Du Dévelop. et de la Reprod.		
M. PAUL Carle	Dermatologie		
M. PAYOUX Pierre	Biophysique		
M. PAYRASTRE Bernard (C.E)	Hématologie		
M. PERON Jean-Marie	Hépto-Gastro-Entérologie		
M. PERRRET Bertrand (C.E)	Biochimie		
M. RASCOL Olivier (C.E)	Pharmacologie		
M. RECHER Christian	Hématologie		
M. RISCHMANN Pascal (C.E)	Urologie		
M. RIVIERE Daniel (C.E)	Physiologie		
M. SALES DE GAUZY Jérôme (C.E)	Chirurgie Infantile		
M. SALLES Jean-Pierre (C.E)	Pédiatrie		
M. SANS Nicolas	Radiologie		
Mme SELVES Janick	Anatomie et cytologie pathologiques		
M. SERRE Guy (C.E)	Biologie Cellulaire		
M. TELMON Norbert (C.E)	Médecine Légale		
M. VINEL Jean-Pierre (C.E)	Hépto-Gastro-Entérologie		

FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE-RANGUEIL

133, route de Narbonne - 31062 TOULOUSE Cedex

Doyen : E. SERRANO

P.U. - P.H. Classe Exceptionnelle et 1 ^{ère} classe		P.U. - P.H. 2 ^{ème} classe	
M. ACAR Philippe	Pédiatrie	M. ARBUS Christophe	Psychiatrie
M. ACCADBLED Franck	Chirurgie Infantile	M. AUSSEIL Jérôme	Biochimie et biologie moléculaire
M. ALRIC Laurent (C.E)	Médecine Interne	M. BERRY Antoine	Parasitologie
Mme ANDRIEU Sandrine	Epidémiologie	M. BONNEVILLE Fabrice	Radiologie
M. ARNAL Jean-François	Physiologie	M. BOUNES Vincent	Médecine d'urgence
Mme BERRY Isabelle (C.E)	Biophysique	Mme BOURNET Barbara	Gastro-entérologie
M. BUJAN Louis (C. E)	Urologie-Andrologie	M. CHAPUT Benoit	Chirurgie plastique et des brûlés
Mme BURA-RIVIERE Alessandra	Médecine Vasculaire	M. CHAYNES Patrick	Anatomie
M. BUSCAIL Louis (C.E)	Hépto-Gastro-Entérologie	Mme DALENC Florence	Cancérologie
M. CANTAGREL Alain (C.E)	Rhumatologie	M. DECRAMER Stéphane	Pédiatrie
M. CARON Philippe (C.E)	Endocrinologie	M. DELOBEL Pierre	Maladies Infectieuses
M. CHAUFOUR Xavier	Chirurgie Vasculaire	M. FAGUER Stanislas	Néphrologie
M. CHIRON Philippe (C.E)	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie	M. FRANCHITTO Nicolas	Addictologie
M. CONSTANTIN Arnaud	Rhumatologie	M. GARRIDO-STÖWHAS Ignacio	Chirurgie Plastique
M. COURBON Frédéric	Biophysique	M. GATIMEL Nicolas	Médecine de la reproduction
Mme COURTADE SAIDI Monique	Histologie Embryologie	Mme GOMEZ-BROUCHET Anne-Muriel	Anatomie Pathologique
M. DAMBRIN Camille	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire	M. HUYGHE Eric	Urologie
M. DELABESSE Eric	Hématologie	Mme LAPRIE Anne	Radiothérapie
M. DELORD Jean-Pierre	Cancérologie	M. LAURENT Camille	Anatomie Pathologique
M. DIDIER Alain (C.E)	Pneumologie	M. MARCHEIX Bertrand	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Mme DULY-BOUHANICK Béatrice	Thérapeutique	M. MAURY Jean-Philippe	Cardiologie
M. ELBAZ Meyer	Cardiologie	M. MEYER Nicolas	Dermatologie
M. GALINIER Michel (C.E)	Cardiologie	M. MUSCARI Fabrice	Chirurgie Digestive
M. GLOCK Yves (C.E)	Chirurgie Cardio-Vasculaire	M. REINA Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique
M. GOURDY Pierre	Endocrinologie	M. SILVA SIFONTES Stein	Réanimation
M. GRAND Alain (C.E)	Epidémiologie. Eco. de la Santé et Prévention	M. SOLER Vincent	Ophthalmologie
M. GROLLEAU RAOUX Jean-Louis	Chirurgie plastique	Mme SOMMET Agnès	Pharmacologie
Mme GUIMBAUD Rosine	Cancérologie	Mme SOTO-MARTIN Maria-Eugénia	Gériatrie et biologie du vieillissement
Mme HANAIRE Hélène (C.E)	Endocrinologie	M. TACK Ivan	Physiologie
M. KAMAR Nassim	Néphrologie	M. VERGEZ Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
M. LARRUE Vincent	Neurologie	M. YSEBAERT Loic	Hématologie
M. LAUWERS Frédéric	Anatomie		
M. LEVADE Thierry (C.E)	Biochimie		
M. MALECAZE François (C.E)	Ophthalmologie	P.U. Médecine générale	
M. MARQUE Philippe	Médecine Physique et Réadaptation	Mme ROUGE-BUGAT Marie-Eve	
Mme MAZEREEUW Juliette	Dermatologie		
M. MINVILLE Vincent	Anesthésiologie Réanimation	Professeur Associé de Médecine Générale	
M. OTAL Philippe	Radiologie	M. BOYER Pierre	
M. RAYNAUD Jean-Philippe (C.E)	Psychiatrie Infantile	M. STILLMUNKES André	
M. RITZ Patrick	Nutrition		
M. ROLLAND Yves (C.E)	Gériatrie	Professeur Associé en Pédiatrie	
M. ROUGE Daniel (C.E)	Médecine Légale	Mme CLAUDET Isabelle	
M. ROUSSEAU Hervé (C.E)	Radiologie		
M. ROUX Franck-Emmanuel	Neurochirurgie		
M. SAILLER Laurent	Médecine Interne		
M. SCHMITT Laurent (C.E)	Psychiatrie		
M. SENARD Jean-Michel (C.E)	Pharmacologie		
M. SERRANO Elie (C.E)	Oto-rhino-laryngologie		
M. SOULAT Jean-Marc	Médecine du Travail		
M. SOULIE Michel (C.E)	Urologie		
M. SUC Bertrand	Chirurgie Digestive		
Mme TAUBER Marie-Thérèse (C.E)	Pédiatrie		
Mme URO-COSTE Emmanuelle	Anatomie Pathologique		
M. VAYSSIERE Christophe	Gynécologie Obstétrique		
M. VELLAS Bruno (C.E)	Gériatrie		

.....

M.C.U. - P.H.

M. ABBO Olivier	Chirurgie infantile
M. APOIL Pol Andre	Immunologie
Mme ARNAUD Catherine	Epidémiologie
Mme BERTOLI Sarah	Hématologie, transfusion
M. BIETH Eric	Génétique
Mme CASPAR BAUGUIL Sylvie	Nutrition
Mme CASSAGNE Myriam	Ophthalmologie
Mme CASSAING Sophie	Parasitologie
M. CAVAINAC Etienne	Chirurgie orthopédique et traumatologie
Mme CHANTALAT Elodie	Anatomie
M. CONGY Nicolas	Immunologie
Mme COURBON Christine	Pharmacologie
Mme DAMASE Christine	Pharmacologie
Mme de GLISEZENSKY Isabelle	Physiologie
Mme DE MAS Véronique	Hématologie
M. DUBOIS Damien	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme FILLAUX Judith	Parasitologie
M. GANTET Pierre	Biophysique
Mme GENNERO Isabelle	Biochimie
Mme GENOUX Annelise	Biochimie et biologie moléculaire
M. HAMDJ Safouane	Biochimie
Mme HITZEL Anne	Biophysique
M. IRIART Xavier	Parasitologie et mycologie
Mme JONCA Nathalie	Biologie cellulaire
M. KIRZIN Sylvain	Chirurgie générale
Mme LAPEYRE-MESTRE Maryse	Pharmacologie
M. LHERMUSIER Thibault	Cardiologie
M. LHOMME Sébastien	Bactériologie-virologie
Mme MONTASTIER Emilie	Nutrition
Mme MOREAU Marion	Physiologie
Mme NOGUEIRA M.L.	Biologie Cellulaire
M. PILLARD Fabien	Physiologie
Mme PUISSANT Bénédicte	Immunologie
Mme RAYMOND Stéphanie	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme SABOURDY Frédérique	Biochimie
Mme SAUNE Karine	Bactériologie Virologie
M. TAFANI Jean-André	Biophysique
M. TREINER Emmanuel	Immunologie
Mme VAYSSE Charlotte	Cancérologie
M. VIDAL Fabien	Gynécologie obstétrique

M.C.U. Médecine générale

M. BRILLAC Thierry
Mme DUPOUY Julie

M.C.U. - P.H.

Mme ABRAVANEL Florence	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme BASSET Céline	Cytologie et histologie
Mme CAMARE Caroline	Biochimie et biologie moléculaire
M. CAMBUS Jean-Pierre	Hématologie
Mme CANTERO Anne-Valérie	Biochimie
Mme CARFAGNA Luana	Pédiatrie
Mme CASSOL Emmanuelle	Biophysique
Mme CAUSSE Elizabeth	Biochimie
M. CHASSAING Nicolas	Génétique
M. CLAVEL Cyril	Biologie Cellulaire
Mme COLOMBAT Magali	Anatomie et cytologie pathologiques
Mme CORRE Jill	Hématologie
M. DE BONNECAZE Guillaume	Anatomie
M. DEDOUIT Fabrice	Médecine Légale
M. DELPLA Pierre-André	Médecine Légale
M. DESPAS Fabien	Pharmacologie
M. EDOUARD Thomas	Pédiatrie
Mme ESQUIROL Yolande	Médecine du travail
Mme EVRARD Solène	Histologie, embryologie et cytologie
Mme GALINIER Anne	Nutrition
Mme GALLINI Adeline	Epidémiologie
Mme GARDETTE Virginie	Epidémiologie
M. GASQ David	Physiologie
M. GATIMEL Nicolas	Médecine de la reproduction
Mme GRARE Marion	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme GUILBEAU-FRUGIER Céline	Anatomie Pathologique
M. GUILLEMINAULT Laurent	Pneumologie
Mme GUYONNET Sophie	Nutrition
M. HERIN Fabrice	Médecine et santé au travail
Mme INGUENEAU Cécile	Biochimie
M. LEANDRI Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
M. LEPAGE Benoit	Biostatistiques et Informatique médicale
Mme MAUPAS SCHWALM Françoise	Biochimie
M. MIEUSSET Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
M. MOULIS Guillaume	Médecine interne
Mme NASR Nathalie	Neurologie
M. RIMAILHO Jacques	Anatomie et Chirurgie Générale
M. RONGIERES Michel	Anatomie - Chirurgie orthopédique
Mme VALLET Marion	Physiologie
M. VERGEZ François	Hématologie

M.C.U. Médecine générale

M. BISMUTH Michel
Mme ESCOURROU Brigitte

Maîtres de Conférences Associés de Médecine Générale

Dr BIREBENT Jordan
Dr BOURGEOIS Odile
Dr CHICOUJAA Bruno

Dr FREYENS Anne
Dr IRI-DELAHAYE Motoko
Dr LATROUS Leila

À mon grand-père,

Parce que tes devoirs de vacances ont fini par payer.

À Benjamin,

Parce que j'apprécie désormais la Vie à sa juste valeur.

REMERCIEMENTS

À mon Maître et Président du Jury,

Monsieur le Professeur Frédéric Lauwers,

Chirurgien, Professeur et Patron, autant de raisons de vous témoigner mon plus profond respect. Mais c'est pour vos qualités humaines que je vous admire.

Je ne vous remercierai jamais assez pour votre écoute, vos suggestions et vos conseils.

Merci de m'accorder le temps et la liberté d'évoluer, tout en guidant chacun de mes pas.

À mon Maître et Juge,

Monsieur le Professeur Franck Boutault,

Je regrette de ne pas avoir pu profiter plus longtemps de votre enseignement et de votre rigueur. Je vous remercie d'avoir accepté de juger ce travail, qui est un clin d'œil à nos conversations passées sur le métier d'ingénieur-chirurgien.

À mon Maître et Juge,

Monsieur le Professeur Raphaël Lopez,

Il était très important pour moi que tu sois juge de ce travail, de par ta grande expérience de chirurgie carcinologique et reconstructrice mais également pour t'exprimer ma profonde gratitude pour ta disponibilité et ton compagnonnage depuis le début de mon internat.

À mon Maître et Directeur de Thèse,

Monsieur le Docteur Franck Delanoë

Merci d'avoir accepté de diriger ce travail, les délais serrés de relecture, et de t'investir autant dans notre formation. J'admire la façon dont tu défends tes convictions et te bats pour l'espoir de la dernière chance. Je me suis toujours questionnée sur la façon dont tu arrivais à instaurer cette relation unique avec chacun de tes patients.

Probablement parce qu'il n'est pas plus facile d'opérer un être humain en oubliant que l'on en est un...

À mon Maître et Juge,

Au Docteur Samuel Muller,

De mon premier semestre d'internat à ton dernier de clinicat.

Parce que j'ai toujours été impressionnée par ta gestuelle, ta patience, ta disponibilité, ton sens pédagogique et la façon dont tu traites les incompétences labiales...

Et à ceux sans qui ce projet n'aurait jamais pu aboutir,

À Jérôme Briot et au Professeur Pascal Swider,

Nos échanges permanents, nos points de vue différents mais complémentaires sont un véritable moteur pour l'avancement de ce projet. J'espère que notre collaboration s'étendra au-delà du projet FIBUMAND.

Au Docteur Yann Heuzé,

Pour m'avoir appris les bases de la morphométrie. Merci pour votre disponibilité, votre réactivité et votre partage de connaissances.

À Florence,

Pour toute la gestion du matériel chirurgical mais surtout pour tout ce que tu m'apportes depuis le début de mon internat. Apprendre avec rigueur et bonne humeur !

À Hubert et Philippe,

Les bons-vivants du Laboratoire d'Anatomie.

À mes maîtres de stages et d'enseignement,

Parce que la chirurgie n'est pas qu'une question de mimétisme.

Au Docteur Céline Dekeister, pour l'esthétisme de ses gestes

Au Docteur Ambre De Berail, une force de caractère, un exemple de courage

À mes amis devenus grands,

Cheik, parce que tu es toujours de bon conseil, que ce soit professionnel ou personnel, j'admire ta philosophie et ta sérénité

Cyrielle, de ma première BAT au verre de vin du weekend dernier, gracieuse et piquante comme une rose

Hélios, d'Amsterdam à Rio, en passant par la Suisse, je viendrais peut-être un jour à Nantes.

À la famille Prevost-Maltas,

À nos éclats de voix et aux mots qu'on ne pense pas, aux larmes de joie et aux autres,
parce que nos différences font notre force,

À ma mère, pour ta rage de vaincre et que rien n'est impossible pour toi. Merci de me
porter à bouts de bras,

À mon père, la force calme de la famille. Parce qu'un regard vaut parfois bien plus que
les mots,

À mon frère, tueur de sang chaud, tueuse de sang-froid...Pour toutes nos disputes et nos
mots durs qui nous font avancer. Je suis fière de l'homme que tu es devenu,

À mes grand mères, véritables Mafiosas que l'on craint encore de défier,

Au clan gréco-français, parce que rien ne vous résiste.

Je ne pense jamais avoir pris le temps de vous le dire, vous m'êtes indispensable, Merci.

Et à mon autre grande famille...

À mes amies de toujours, le clan Benetton,
Pour avoir partagé avec vous les minutes les plus longues de ma vie et que les meilleures restent à venir.

À ces 10 années d'études, à nos premières rides et nos nouvelles petites responsabilités,
à notre insouciance envolée mais aux souvenirs qu'elle nous laisse,
Gisèle, l'indomptable châtelaine et le voleur de tableaux,
Chloé, sauvage et indépendante, mais toujours avec classe,
Cyndie, passionnée jusqu'à la pointe des cheveux,
Jeanne, aux plaisirs qu'il faut s'avoir s'accorder,
Camille et Nico, l'amour le plus fort
À toutes nos futures RCP au bout du monde !

Aux "Durettes",
Parce nous étions ses stars et qu'il est maintenant la nôtre et que son rire raisonnera toujours plus fort que celui de Marina ! Il y a eu l'Avant et le Pendant, mais c'est encore avec vous que j'espère vivre l'Après.

Aux uniques et inclassables,
Kevin, ma mauvaise fréquentation des bancs de P1 ! Parce qu'il n'y a que toi qui porte la moustache avec classe.
Julien, parce que boire pour oublier c'est bien, mais s'étourdir avec toi et s'en souvenir, c'est encore mieux ! À la Providence !
Tiara, des douches communes de Cahors, au palais des Chalets ! Parce que tu es la personne la plus sincère et généreuse que je connaisse, que j'admire la façon dont tu te bats pour défendre tes convictions mais qu'il ne faut pas t'oublier.

À toi, parce que je continue d'écrire mon histoire sans pour autant tourner la page,
Et à toi, Paul, ma rencontre inattendue mais aussi la plus belle, pour avoir accompli
l'exploit de me redonner le sourire, et pour de bon.

À STROMALab

Pour la rigueur, la bonne humeur et les produits en croix !! Merci

Et à la fine équipe de Chirurgie Maxillo Faciale,

À mes co-internes, les anciens, les actuels, les futurs, les CMF et les autres (surtout Julien et Bastien, mais pas queue...)

Parce que nous sommes tous dans la même galère, et qu'il faut pagayer dans le même sens pour pouvoir avancer

À Clément, parce que j'admire ton bronzage, ton sourire bright et ta façon d'opérer.

À toutes les filles de la Consultation, de la prise de rendez-vous à la consultation d'annonce en passant par le petit bloc, c'est toujours un plaisir de travailler avec vous, et surtout le vendredi soir à 17h

À toutes les filles du Service, parce que les semaines de Bip paraissent beaucoup plus douces avec vous

À toutes les filles du 2ème, cachées dans l'ombre mais pourtant indispensables

À toutes les infirmières du bloc, pour nous faciliter la vie.

À toutes ces nuits de garde qui m'ont fait douter, mais à tous ces moments de partage du Lendemain, qui me font rester.

Sommaire :

I. INTRODUCTION	21
II. MATÉRIELS ET MÉTHODES	24
A. BASE DE DONNÉES.....	24
1. Critères d'inclusion et d'exclusion de la population	24
2. Extraction des données DICOM	25
B. PROTOCOLE DE RECONSTRUCTION TRIDIMENSIONNELLE.....	25
1. Segmentation	25
2. Exportation au format STL	25
C. MORPHOMÉTRIE MANDIBULAIRE.....	25
1. Principe	25
2. Définition des landmarks.....	26
3. Protocole d'analyse des données métriques.....	30
4. Protocole d'analyse par morphométrie géométrique	31
a) Superposition procruste	32
b) Étude de la variabilité intra sexuelle.....	32
c) Étude du dimorphisme sexuel de la mandibule	33
Allométrie et analyse de régression	33
III. RÉSULTATS MORPHOMÉTRIQUES	34
A. CARACTÉRISTIQUES DES POPULATIONS	34
B. VARIABILITÉ INTRA SEXUELLE.....	34
1. Femme	34
a) Analyse descriptive métrique.....	34
b) Analyse par morphométrie géométrique	36
Analyse de PC1.....	37
Analyse de PC2.....	39
Analyse de PC3.....	41
2. Homme.....	43
a) Analyse descriptive métrique.....	43
b) Analyse par morphométrie géométrique	44
Analyse de PC1.....	46
Analyse de PC2.....	48
Analyse de PC3.....	50
C. DIMORPHISME SEXUEL DE LA MANDIBULE	51
1. Analyse métrique.....	51
2. Analyse par morphométrie géométrique	54
Analyse de PC1.....	57
Analyse de PC4.....	58
Analyse de régression.....	59
Mandibules Procruste Femme et Homme	59
IV. APPLICATION CLINIQUE	60
A. CONCEPTUALISATION ET CONCEPTION DU GUIDE	60
1. Pertinence clinique des valeurs mesurées	60
2. Design et conception du guide.....	61
B. ÉVALUATION DE LA FAISABILITÉ SUR SUJET CADAVERIQUE	66
C. ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE LA RECONSTRUCTION	68
V. DISCUSSION	69
VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	74
VII. ANNEXES	76
VIII. BIBLIOGRAPHIE	81

Liste des tableaux :

Tableau 1: Définition des différents landmarks	27
Tableau 2: Protocole d'analyse métrique définissant les mesures utilisées pour l'analyse morphométrique traditionnelle	30
Tableau 3: Âges moyens des patients inclus.....	34
Tableau 4: Analyse statistique descriptive des différents angles étudiés dans le groupe Femme.....	35
Tableau 5: Analyse statistique descriptive des différentes longueurs étudiées dans le groupe Femme	35
Tableau 6: Analyse statistique descriptive des différents angles étudiés dans le groupe Homme.....	43
Tableau 7: Analyse statistique descriptive des différentes longueurs étudiées dans le groupe Homme	44
Tableau 8: Dimorphisme sexuel observé pour les différents angles étudiés	52
Tableau 9: Dimorphisme sexuel observé pour les différentes longueurs étudiées	53
Tableau 10: Valeurs retenues pour la conception des guides de coupe.....	61

Liste des figures :

Figure 1: Différents landmarks à la surface de fichier STL de mandibule	28
Figure 2: Simplification de la géométrie mandibulaire	29
Figure 3: Trois étapes du recalage selon procruste.....	32
Figure 4: Graphique de répartition des PC en fonction de leur pourcentage de variance, groupe Femme	36
Figure 5: Répartition des 30 mandibules féminines sur PC1 et PC2.....	37
Figure 6: Représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC1 pour les valeurs -0,1 et +0,1	38
Figure 7: Représentation des variations morphologiques les plus importantes sur PC1 pour les valeurs -0,1 et +0,1	39
Figure 8: Répartition des 30 mandibules féminines sur PC2	39
Figure 9: Représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC2 pour les valeurs -0,1 et +0,1	40
Figure 10: Répartition des 30 mandibules féminines sur PC3	41
Figure 11: Représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC3 pour les valeurs -0,1 et +0,1	42
Figure 12: Graphique de répartition des PC en fonction de leur pourcentage de variance, groupe Homme	45
Figure 13: Répartition des 30 mandibules masculines sur PC1	46
Figure 14: Représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC1 pour les valeurs -0,1 et +0,1	47
Figure 15: Répartition des 30 mandibules masculines sur PC2	48
Figure 16: Représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC2 pour les valeurs -0,1 et +0,1	49
Figure 17: Répartitions des 30 mandibules masculines sur PC3.....	50
Figure 18: Représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC3 pour les valeurs -0,1 et +0,1	51
Figure 19: Histogramme permettant de visualiser le dimorphisme sexuel pour les différents angles.....	52
Figure 20: Histogramme permettant de visualiser le dimorphisme sexuel pour les différentes longueurs.....	54
Figure 21: Graphique de répartition des PC en fonction de leur pourcentage de variance, Femme et Homme.....	55
Figure 22: Répartition des 60 mandibules sur les différentes PC analysées, permettant d'identifier des PC responsables de dimorphisme sexuel.....	56
Figure 23: Représentation "Wireframe" des différences de variations Homme-Femme rencontrées sur PC1 pour la valeur extrême +0,1.....	57
Figure 24: Représentation "Wireframe" des différences de variations Homme-Femme rencontrées sur PC4 pour la valeur extrême +0,1.....	58

Figure 25: Analyse visuelle des variations rencontrées entre la mandibule procruste Femme et la mandibule procruste Homme	59
Figure 26: Évolution de la conceptualisation du guide.....	62
Figure 27: Évolution de la conception du guide pour les ostéotomies fibulaires.....	63
Figure 28: Fixation du guide à la fibula.....	64
Figure 29: Système de conformation des plaques d'ostéosynthèse	65
Figure 30: Différents systèmes de graduation permettant d'adapter la longueur pour la reconstruction des branches horizontales mandibulaires	65
Figure 31: Essai des prototypes sur cadavre	67
Figure 32: Évaluation 2D de la reconstruction à partir d'un cone beam.....	68
Figure 33: La perte de longueur osseuse secondaire à la réalisation des ostéotomies est responsable d'une torsion du pédicule.....	71

Liste des annexes :

Annexe 1: Groupe Femme, représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC4-5-6 pour les valeurs -0,1 et +0,1	76
Annexe 2: Groupe Homme, représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC4-5-6 pour les valeurs -0,1 et +0,1	77
Annexe 3: Analyse de régression de la taille en fonction du sexe sur les PC présentant un dimorphisme sexuel	78
Annexe 4: Fiche d'utilisation du prototype F version 10 fourni avec le manuscrit.....	79
Annexe 5: Article soumis au Plastic Reconstructive Surgery	80

I. INTRODUCTION

La Chirurgie Assistée par Ordinateur (CAO) peut être définie comme une intégration des techniques informatiques dans une coopération Médecin-Machine, afin d'améliorer la performance médico-chirurgicale en termes d'efficacité, de sécurité ou simplement de "confort" pour le couple chirurgien/patient.

Si les bases de cette nouvelle discipline ont été posées au cours des années 90, elle reste une technologie « nouvelle » et grandissante, imposant l'évaluation du bénéfice réel apporté, qui n'est que très rarement analysé (1).

La CAO est actuellement utilisée en pratique clinique dans des domaines variés de notre spécialité (2-4), comme la chirurgie des implants dentaires (5,6), le traitement des malformations cranio-faciales (7,8), la chirurgie orthognatique (9) ou encore la chirurgie carcinologique notamment pour les reconstructions mandibulaires (10-12) qui représentent à la fois un enjeu morphologique et fonctionnel majeur.

En l'état actuel des connaissances et des pratiques, le gold-standard de la reconstruction mandibulaire est l'utilisation d'os autologue vascularisé dont le site donneur privilégié est la fibula (13,14). La transformation d'un os long en une structure courbe passe par la réalisation d'ostéotomies segmentaires permettant de donner à cet os long la forme du fer à cheval mandibulaire. Ces ostéotomies sont réalisées soit « à main levée » soit en utilisant des guides de coupe et de conformation réalisés sur mesure à partir des données de l'imagerie du patient.

L'utilisation de guides chirurgicaux « sur mesure » dans cette indication est de plus en plus commune. Il est admis qu'elle raccourcit la durée d'intervention de manière significative et semble améliorer la précision de la reconstruction (15-17). Le coût de fabrication varie autour de 2500 euros par patient sans prise en charge par la sécurité sociale et amène des critères de sélection (cas les plus complexes, patients fragiles, patients pouvant assumer le coût).

D'autre part, l'utilisation de techniques de modélisation tridimensionnelle et le parti pris du « sur mesure » n'a fait l'objet d'aucune évaluation qualitative ou comparative étudiant la possibilité d'une alternative plus universelle à partir d'une moyenne « anatomique ».

Plusieurs équipes cherchent actuellement à contourner le coût des guides sur mesure en réalisant ce type de guide en interne, en utilisant un logiciel adapté et une imprimante 3D (9,18-20).

Nous utilisons des guides de coupes sur mesure dans le service de CMF depuis 2008 et avons noté un certain nombre d'éléments qui conduisent la réflexion vers une proposition différente :

- Le coût d'un guide de coupe sur mesure est considéré comme prohibitif par certaines équipes ou institutions malgré le bénéfice sur la morbidité opératoire. En ce qui nous concerne, nous considérons le coût non acceptable pour les reconstructions mandibulaires ne comportant qu'une seule ostéotomie. La première conséquence de ce problème est que tous les patients n'en bénéficient pas. Il y aurait donc une hypothétique perte de chance pour certains patients liée au choix subjectif du chirurgien et aux moyens dont dispose l'institution et la société.
- La conception du guide de coupe est dépendante d'une concertation ingénieur-chirurgien et aboutit à un compromis relatif décidé entre les deux parties. Elle s'adapte à l'anatomie spécifique du patient mais ne la restaure pas de manière identique (21). Les caractères anatomiques de la fibula et de la mandibule sont suffisamment éloignés pour que le résultat attendu soit de l'ordre d'une moyenne acceptable d'un point de vue fonctionnel et morphologique plus que d'une restauration à l'identique
- Il existe un certain degré d'erreur entre la planification préopératoire et le résultat postopératoire (22)
- Le délai de fabrication d'un guide de coupe varie en fonction des industriels mais ne peut en aucun cas être inférieur à deux semaines. Ceci limite son indication puisqu'il n'est pas accessible en urgence (traumatologie) ou pour des délais de prise en charge courts (carcinologie). D'autre part, il peut exister une évolution tumorale entre le moment de la planification et le moment de l'intervention rendant l'utilisation du guide caduque
- Le lambeau de fibula est le plus souvent un lambeau composite (multi-tissulaire) et une palette cutanée est régulièrement prélevée en plus du fragment osseux. Cette palette cutanée est vascularisée par des vaisseaux perforants dont

l'émergence est variable et dont la modélisation « sur mesure » ne tient pas compte. Si pendant l'intervention le chirurgien note que la découpe osseuse prévue compromet la vascularisation cutanée il est tenu de modifier la position du guide de coupe, responsable d'une perte du caractère « sur mesure »

- En chirurgie orthopédique, il existe des ancillaires universels pour la réalisation de prothèses articulaires, l'utilisation de guides sur mesure étant réservée à des situations particulières. L'utilisation de guide sur mesure pour la réalisation d'arthroplastie du genou n'améliore pas les résultats postopératoires (23).

Hypothèse et objectif :

Le parti pris du tout sur mesure en chirurgie maxillo-faciale nous semble excessif.

Nous pensons possible d'utiliser un ancillaire de guide de coupe universel dédié à la reconstruction mandibulaire par lambeau libre micro-anastomosé de fibula à partir d'une moyenne anatomique.

Afin de répondre à cette hypothèse, nous avons répondu à l'Appel à projets RECHERCHE & INNOVATION du CHU Toulouse et du Groupement Hospitalier de Territoire de la Haute-Garonne et du Tarn Ouest 2017 que nous avons obtenu.

L'obtention de cette bourse a permis la création du projet FIBUMAND dont l'objectif principal est d'évaluer la faisabilité de reconstruction mandibulaire par lambeau libre de fibula en utilisant un guide de coupe universel.

Ce travail de thèse s'inscrit donc dans un projet de recherche clinique de plus grande ampleur, dont il constitue la première étape préclinique.

L'objectif de cette thèse est de concevoir ce guide de coupe universel à partir d'une moyenne anatomique obtenue par analyse morphométrique.

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Afin de concevoir un guide de coupe universel de reconstruction mandibulaire par lambeau libre de fibula, nous devons préalablement réaliser une analyse anatomique métrique à partir de mandibules saines afin de déterminer nos longueurs et angles d'intérêt. Nous avons ensuite réalisé une analyse géométrique afin de mieux appréhender les variations de configuration intra et intersexuelles.

A. BASE DE DONNÉES

La première étape de notre travail consistait à obtenir un nombre suffisant de reconstructions tridimensionnelles de mandibules saines.

1. Critères d'inclusion et d'exclusion de la population

Les reconstructions tridimensionnelles de mandibules ont été obtenues à partir d'exams tomodensitométriques. Les scanners des patients inclus ont été réalisés aux urgences du Centre Hospitalier Universitaire de Toulouse Purpan entre le 1^{er} Janvier 2017 et le 1^{er} Juin 2017. Ces imageries étaient réalisées pour suspicion de fractures du massif facial ou pour bilan de cellulite faciale. Le nombre de sujets nécessaires était de 30 individus pour chaque sexe.

Pour être inclus les patients devaient :

- Être majeur, afin de s'affranchir de tout phénomène de croissance mandibulaire (24,25)
- Avoir réalisé une tomodensitométrie du massif facial avec ou sans produit de contraste (scanner General Electric Medical System, model Optima CT660).

Les critères d'exclusions étaient :

- Présence d'une lésion traumatique ou tumorale
- Edentement (afin de s'affranchir de toute atrophie osseuse secondaire)
- Présence d'artéfacts dentaires trop importants pour permettre une analyse tridimensionnelle de qualité
- Agénésie dentaire ou dent surnuméraire.

2. Extraction des données DICOM

Les images étaient ensuite exportées sous forme de fichiers DICOM anonymisés en coupe de 0,6mm d'épaisseur.

B. PROTOCOLE DE RECONSTRUCTION TRIDIMENSIONNELLE

1. Segmentation

La reconstruction tridimensionnelle de mandibule à partir d'une série de fichiers DICOM a été réalisée avec le logiciel « OsiriX MD ». Ce logiciel permet l'affichage et le traitement d'images DICOM.

La segmentation est une technique de traitement d'image qui permet une partition de l'image en ensemble de pixels homogènes selon un critère prédéfini (niveau de gris) afin de définir des « régions d'intérêt » (ici, la mandibule).

Nous avons réalisé un seuillage de niveau de gris afin d'individualiser la mandibule au sein de l'image. Pour chacun des scanners, la mandibule était donc isolée du reste du massif facial et une reconstruction 3D en rendu surfacique était appliquée.

2. Exportation au format STL

Les reconstructions mandibulaires étaient ensuite enregistrées au format stéréolithographique (stl). Ce format décrit la géométrie de surface d'un objet en trois dimensions sous la forme d'une série de triangles formant un maillage.

C. MORPHOMÉTRIE MANDIBULAIRE

1. Principe

La morphométrie est par définition une étude quantitative (mesure) de la forme. On distingue aujourd'hui la morphométrie dite « traditionnelle », qui se base sur des mesures de distances et d'angles, de la morphométrie géométrique (MG), qui considère la forme de façon indépendante de la taille, en tant que conformation géométrique de points anatomiques de référence dont l'homologie (anatomique) est une condition nécessaire.

Afin de répondre à notre hypothèse, nous avons réalisé une analyse morphométrique "traditionnelle" afin d'obtenir les valeurs anatomiques moyennes nécessaires à la conception du guide de coupe, ainsi qu'une analyse morphométrique géométrique afin de mieux appréhender les variations de configuration intra et intersexuelles.

La forme est donc l'aspect physique d'un objet dans l'espace (26). Elle est composée de deux éléments : la taille, c'est à dire l'échelle de l'objet, et la conformation, c'est-à-dire les propriétés géométriques de l'objet. La plupart du temps, chacun peut reconnaître un objet dans une représentation qui n'est pas à l'échelle, ni dans la même orientation que l'élément original. C'est cette conformation que quantifie la morphométrie géométrique. Cette technique assistée par ordinateur, est basée sur l'acquisition, le traitement et l'analyse de points-repères (Landmark, LM) observés à la surface d'objets dont on souhaite comparer les configurations spatiales.

La MG caractérise donc la forme de l'objet par l'ensemble des coordonnées des LM disposés à la surface de l'objet. Par rapport aux données de la morphométrie traditionnelle, les coordonnées de points prennent en compte la géométrie 2D ou 3D des objets étudiés, et permettent de visualiser les résultats des analyses statistiques directement en termes de différence de conformation, ce qui est impossible en morphométrie traditionnelle.

Les fichiers STL obtenus précédemment étaient importés et traités avec le logiciel Viewbox Cephalometric Software (DHAL, Athènes). Ce logiciel permet la visualisation et l'analyse au sein d'un repère orthonormé des fichiers STL en plaçant les LM sur la surface des mandibules reconstruites.

2. Définition des landmarks

La géométrie d'un objet peut être quantifiée de plusieurs façons, notamment à l'aide de courbes de contours ou de surfaces (27,28), mais seule la méthode des points-repères (LM) a été utilisée pour cette étude.

Cette méthode consiste à analyser les coordonnées des LM pour capturer la géométrie de l'objet. Une définition correcte de ces points est indispensable pour légitimer la

comparaison des conformations des différents objets (Tableau 1). Dix-huit LM par patient ont donc été placés. Les mesures ont été réalisées par le même observateur.

Landmarks bilatéraux et symétriques	
Condyle supérieur	Point supérieur du condyle
Condyle postérieur	Point le plus postérieur du condyle
Gonion	Projection osseuse de la bissectrice de l'angle goniale
Inflexion basilaire	Point construit par les intersections des droites tangentes au bord basilaire de la symphyse et au bord basilaire de la branche horizontale
Molaire	Milieu du segment M'(face distale versant vestibulaire de la deuxième molaire)-M"(face distale versant linguale de la deuxième molaire)
Canine	Milieu du segment C'(milieu du collet vestibulaire canin)-C"(milieu du collet linguale canin)
Inflexion alvéolaire	Point construit par les intersections des droites tangentes au bord alvéolaire vestibulaire du secteur incisivo-canin et du secteur molaire
Basilaire	Projection du foramen mentonnier au niveau basilaire
Landmarks médians	
Inter-incisif	Point situé au milieu des collets des dents 31 et 41
Menton	Point le plus inférieur et médian de la symphyse

Tableau 1: Définition des différents landmarks

Nous avons pris le parti de minimiser le nombre de LM afin d'obtenir une simplification de la géométrie mandibulaire et de n'étudier que les valeurs qui ont un intérêt à la pratique chirurgicale. Nous avons choisi la deuxième molaire comme dernière dent car les dents de sagesse ne sont pas toujours présentes et ne sont que très rarement remplacées lors de réhabilitation prothétique.

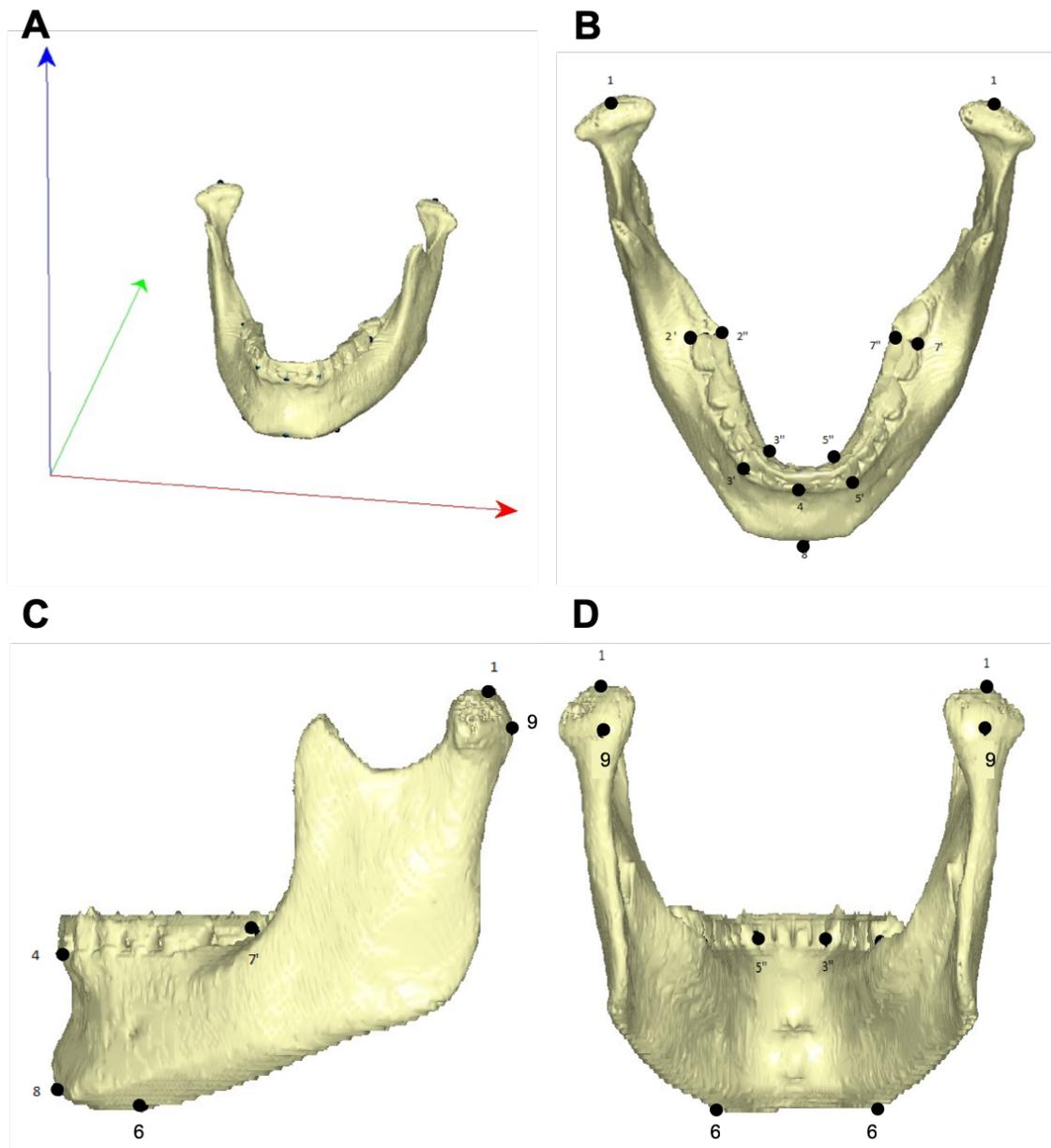


Figure 1: Différents landmarks à la surface de fichier STL de mandibule

A : Visualisation 3D d'un fichier STL de mandibule dans un repère orthonormé (logiciel Viewbox)

B-C-D : Les LM sont placés à la surface et sont caractérisés par leurs coordonnées cartésiennes :

1 : condyle supérieur

2' : versant vestibulaire de la face distale de la 47 ; 2'' : versant linguale de la face distale de la 47. Le point molaire droit est situé au milieu du segment 2'-2''

3' : milieu du collet vestibulaire de la dent 43 ; 3'' : milieu du collet linguale de la dent 43. Le point canin droit est situé au milieu du segment 3'-3''

4 : point inter-incisif

5' : milieu du collet vestibulaire de la dent 33 ; 5'' : milieu du collet linguale de la dent 33. Le point canin gauche est situé au milieu du segment 5'-5''

6' : projection basilaire du foramen mentonnier

7' : versant vestibulaire de la face distale de la 37 ; 7'' : versant linguale de la face distale de la 37. Le point molaire gauche est situé au milieu du segment 7'-7''

8 : point mentonnier

9 : point condyle postérieur

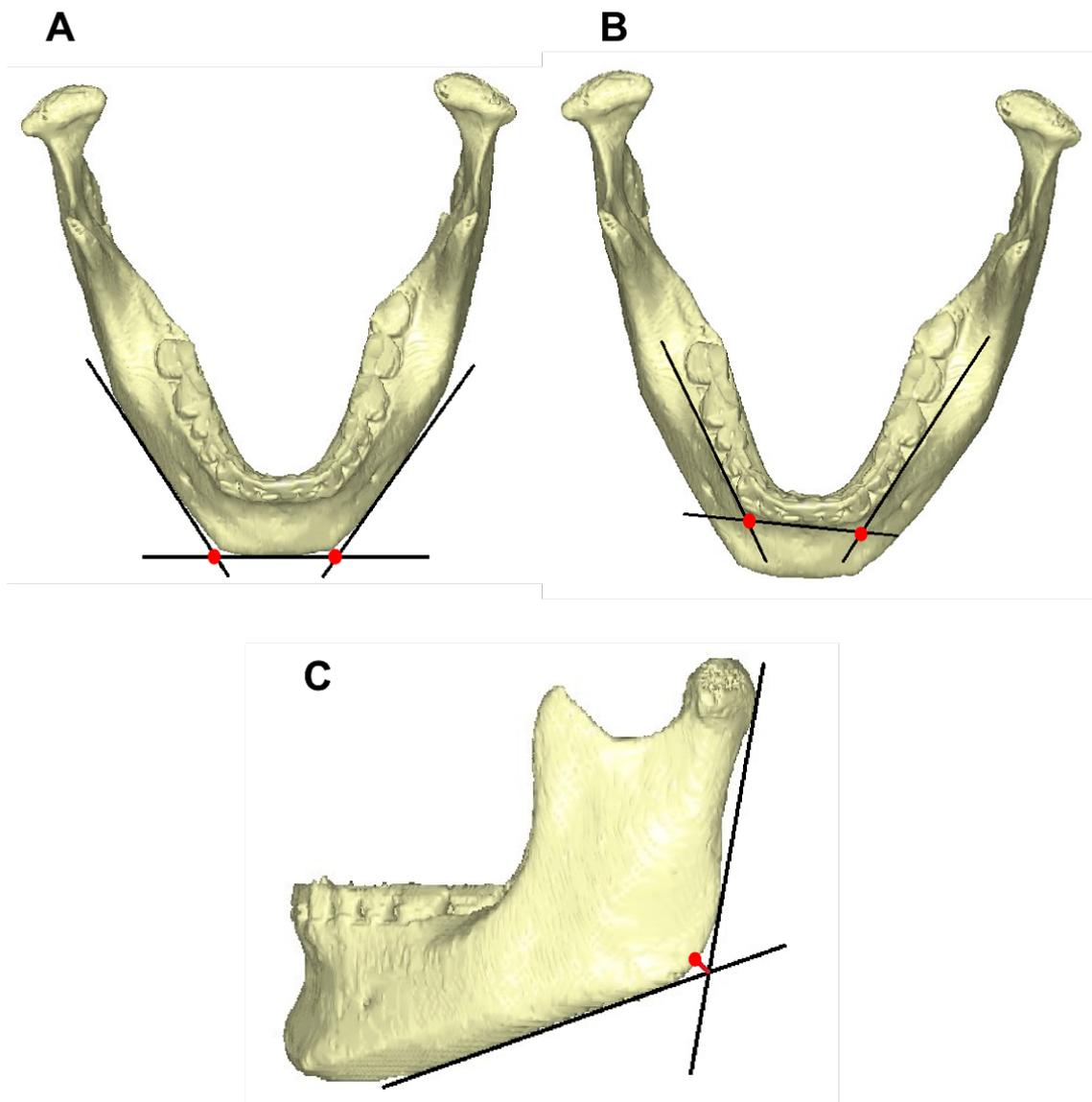


Figure 2: Simplification de la géométrie mandibulaire

A : les intersections des droites tangentes au bord basilaire de la symphyse et au bord basilaire de la branche horizontale permettent de définir le point "inflexion basilaire"

B : les intersections des droites tangentes au bord alvéolaire vestibulaire du secteur incisivo-canin et du secteur molaire permettent de définir le point "inflexion alvéolaire"

C : la droite tangente au bord postérieur du ramus et la droite tangente au bord basilaire du corps mandibulaire permettent de définir l'angle goniale. Le gonion est la projection osseuse de la bissectrice de l'angle goniale.

Pour tester la reproductibilité du placement des points repères, ces derniers ont été placés cinq fois sur la surface mandibulaire de 10 patients, à plusieurs jours d'intervalle. La mesure de l'erreur a été calculée à l'aide d'une analyse de variance multivariée (ANOVA). Aucune différence statistiquement significative n'a été observée, confirmant

la reproductibilité de notre analyse ($p > 0,05$ pour chacun des paramètres étudiés, pour chaque patient).

3. Protocole d'analyse des données métriques

Les LM précédemment cités permettaient de calculer nos longueurs et angles d'intérêt comme définis ci-dessous (Tableau 2).

Mesures bilatérales	
Angle goniale	Angle mesuré entre la droite tangente au bord postérieur du ramus et la tangente au bord basilaire du corps mandibulaire
Angle symphysaire basilaire	Angle mesuré entre les droites tangentes aux bords basilaires de la symphyse et des branches horizontales
Angle canin	Angle mesuré entre les droites canine-canine et canine-molaire
Dimension verticale postérieure	Distance entre le "gonion" et le point "condyle supérieur"
Longueur portion dentée horizontale	Distance alvéolaire entre la canine et la deuxième molaire
Longueur branche horizontale basilaire	Distance basilaire entre le point "inflexion basilaire" et le gonion
Mesures uniques	
Longueur symphyse basilaire	Distance entre les deux points "inflexion basilaire"
Longueur symphyse alvéolaire	Distance entre les deux points "inflexion alvéolaire"
Hauteur symphysaire	Distance entre les points "Menton" et "Inter-incisif"
Longueur bi-goniale	Distance entre les deux points "Gonion"

Tableau 2: Protocole d'analyse métrique définissant les mesures utilisées pour l'analyse morphométrique traditionnelle

Nous avons défini le protocole de calcul de ces valeurs avec le logiciel Viewbox Cephalometric Software (DHAL, Athènes).

Ce dernier nous a permis d'obtenir nos valeurs métriques et d'exporter les coordonnées cartésiennes de chacun des LM afin de procéder à l'analyse morphométrique.

Les analyses statistiques des valeurs métriques ont été réalisées avec le logiciel GraphPad Prism version 8.0 (GraphPad Software, La Jolla, Etats-Unis). L'analyse de ces données quantitatives a été effectuée à partir d'un test de Kruskal-Wallis ou ANOVA en fonction de la distribution des variables.

Seuls les résultats présentant un risque de première espèce inférieur à 5% étaient considérés comme statistiquement significatifs.

4. Protocole d'analyse par morphométrie géométrique

Les conformations étant définies par les coordonnées cartésiennes des différents LM, elles doivent être placées dans un même référentiel avant de pouvoir être comparées. La technique pour uniformiser le référentiel de différentes conformations permet, en pratique, de sortir du référentiel arbitraire qui a servi à la prise des mesures en alignant les conformations entre elles.

La méthode utilisée dans cette étude est la superposition procruste (29).

Pour supprimer les effets de position, de taille et d'orientation, la procédure de la superposition procruste consiste en trois étapes (Figure 3) :

- La translation de toutes les configurations de points homologues de l'échantillon afin de les faire converger sur leur centre de gravité ou centroïde (moyenne des coordonnées des points homologues de toutes les configurations). Cette première étape supprime les effets de position
- La normalisation de toutes les configurations de l'échantillon afin qu'ils partagent la même taille centroïde. De façon conventionnelle, toutes les configurations de points sont standardisées avec une taille centroïde de 1. Cette seconde étape supprime les effets d'échelle mais conserve les différences de conformations liées à la taille (allométries)
- La rotation de toutes les configurations de points sur leur centroïde afin de minimiser les distances entre les points homologues deux à deux. Cette méthode de rotation repose sur un algorithme itératif (30) et s'appelle la *Generalized Procrustes Analyse*. L'itération est répétée jusqu'à obtenir une convergence. Cette étape supprime les effets de rotation et minimise les différences entre tous les objets.

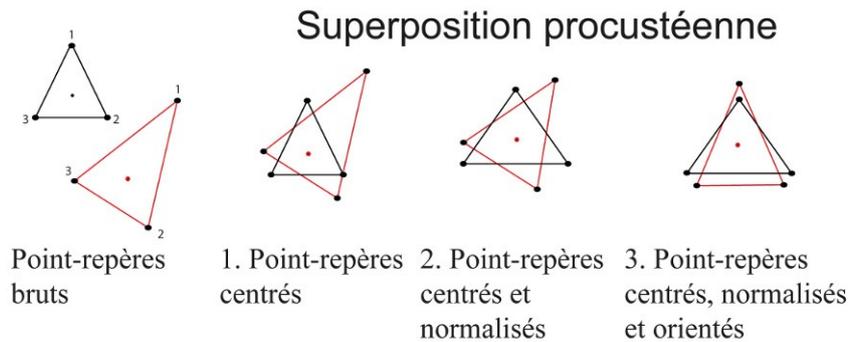


Figure 3: Trois étapes du recalage selon procruste

Les nouvelles coordonnées cartésiennes des points homologues centrés, mis à l'échelle et orientés après superposition procruste sont appelées les "coordonnées procrustes". La moyenne des coordonnées procrustes représente la conformation moyenne. Les distances entre deux configurations de coordonnées procrustes dans l'espace des conformations sont appelées les "distances procrustes" et permettent de mesurer la similarité entre deux ou plusieurs conformations (plus la distance est grande, plus les objets sont différents).

a) Superposition procruste

Nous avons réalisé une superposition procruste pour l'ensemble des patients inclus soit 60 sujets. Au terme de cette manipulation nous obtenons les nouvelles coordonnées procrustes de chacun des 18 LM des 60 mandibules ainsi que leur représentation en 3 dimensions.

Cette superposition a été réalisée séparément dans les groupes Homme et Femme afin d'obtenir les mandibules moyennes de ces 2 groupes. En effet, en réalisant la moyenne des coordonnées procruste Homme et la moyenne des coordonnées procruste Femme, il est possible d'obtenir la mandibule moyenne Homme (ou mandibule procruste Homme) et la mandibule moyenne Femme (ou mandibule procruste Femme).

b) Étude de la variabilité intra sexuelle

Pour quantifier la variation morphologique mandibulaire au sein de chaque sexe, nous avons généré une matrice de covariances puis une analyse en composante principale (ACP) à partir du logiciel MorphoJ. Il s'agit d'une méthode fondamentale en statistique descriptive multidimensionnelle. C'est une analyse statistique des variations de géométrie. L'ACP réduit la dimension de la matrice des données, en retenant le plus

possible les variations présentes dans le jeu de données de départ. Cette ACP permet donc de simplifier la base de données initiale et de visualiser la variance des échantillons, ainsi que les composantes principales (PC) de ces variations. Pour chaque PC, nous obtenions le pourcentage de la variance totale. Seules les PC responsables de plus de 5% de la variance ont été analysées. Nous avons ensuite généré un wiregraph (graphe filaire) afin de mieux visualiser les variations de forme des mandibules en fonction des PC analysées. De cette façon, il est possible de visualiser les mandibules "extrêmes" dans les groupes Homme et Femme.

c) Étude du dimorphisme sexuel de la mandibule

L'asymétrie entre les deux "hémi-mandibules" était susceptible de perturber l'analyse du dimorphisme sexuel. Afin de s'affranchir d'une variation morphologique imputable à la seule asymétrie, la base de données a été symétrisée selon le protocole décrit par Klingenberg (31).

La même méthodologie a été utilisée pour étudier la variabilité intersexuelle de configuration mandibulaire.

Allométrie et analyse de régression

L'allométrie correspond à l'influence de la taille sur la forme d'un objet (32). Le dimorphisme sexuel mandibulaire s'expliquant en partie par les différences de taille entre les mandibules des deux sexes, nous avons réalisé une analyse de régression afin de s'affranchir de l'effet de la taille de la mandibule sur sa forme. La superposition procruste, malgré la mise à l'échelle des objets, ne permet pas de s'affranchir des influences de la taille sur la forme. Il est possible de quantifier l'allométrie par une analyse de régression de la forme sur la taille mandibulaire.

III. RÉSULTATS MORPHOMÉTRIQUES

A. CARACTÉRISTIQUES DES POPULATIONS

Nous avons inclus 60 patients, 30 hommes et 30 femmes.

L'âge moyen dans le groupe Femme était de 33,7 ans (écart type : 12,5ans). L'âge moyen dans le groupe Homme était de 31,6 ans (écart type : 11,1ans) (Tableau 3). Les deux groupes étaient comparables, il n'existait pas de différence statistiquement significative pour ce critère étudié ($p=0,49$).

	Femmes (n=30)	Hommes (n=30)	p
Age (année), moyenne \pm ET	33,7 \pm 12,5	31,6 \pm 11,1	0,49

Tableau 3: Âges moyens des patients inclus

B. VARIABILITÉ INTRA SEXUELLE

1. Femme

a) *Analyse descriptive métrique*

Les valeurs mesurées pour chaque angle sont colligées dans le Tableau 4.

Il apparaît que :

- Les mesures bilatérales sont considérées comme symétriques, en acceptant une différence de 4,3° maximum (angle basilaire).
- L'écart type (et donc le coefficient de variation) est plus élevé pour la mesure de l'angle goniale (6,9%). C'est donc l'angle le plus variable d'un sujet à l'autre.

Angles (n=30)	Moyenne (degrés) ± ET	Coefficient de variation
Angle goniale droit	128,5 ± 8,9	6,9%
Angle goniale gauche	129,3 ± 8,9	6,9%
Angle canin droit	114,6 ± 3,8	3,3%
Angle canin gauche	114,5 ± 3,6	3,2%
Angle basilaire droit	122,5 ± 5,1	4,2%
Angle basilaire gauche	118,2 ± 6,5	5,6%

Tableau 4: Analyse statistique descriptive des différents angles étudiés dans le groupe Femme
ET : écart-type ; coefficient de variation : dispersion des données autour de la moyenne

Les valeurs mesurées pour chaque longueur sont colligées dans le Tableau 5.

Il apparaît que :

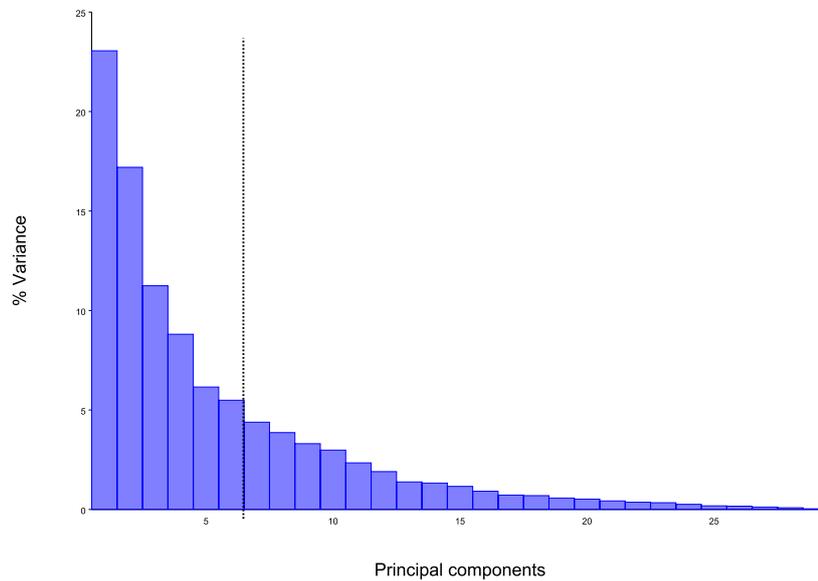
- Les valeurs mesurées de chaque côté sont symétriques
- La longueur de la symphyse basilaire et la hauteur symphysaire sont les deux paramètres les plus variables (coefficient de variation de 12,9% et 12% respectivement).

Longueurs (n=30)	Moyenne (cm) ± ET	Coefficient de variation
Dimension verticale postérieure droite	6,0 ± 0,4	6,2%
Dimension verticale postérieure gauche	6,0 ± 0,4	7,0%
Longueur portion dentée horizontale droite	3,8 ± 0,2	4,2%
Longueur portion dentée horizontale gauche	3,8 ± 0,2	5,1%
Longueur branche horizontale basilaire droite	7,2 ± 0,6	7,9%
Longueur branche horizontale basilaire gauche	7,5 ± 0,5	6,6%
Longueur symphyse basilaire	2,5 ± 0,3	12,9%
Longueur symphyse alvéolaire	2,8 ± 0,2	6,5%
Hauteur symphysaire	2,7 ± 0,3	12,0%
Longueur bi-goniale	8,8 ± 0,6	6,5%

Tableau 5: Analyse statistique descriptive des différentes longueurs étudiées dans le groupe Femme
ET : écart-type ; coefficient de variation : dispersion des données autour de la moyenne

b) *Analyse par morphométrie géométrique*

L'analyse en composante principale réalisée sur les 30 patientes a permis d'obtenir la variance totale de notre échantillon, ainsi que les composantes principales (PC) de ses variations. Pour chaque PC, nous obtenions le pourcentage exprimé de la variance totale (Figure 4). Une PC peut regrouper plusieurs variations.



PC	% Variance	% Cumulé
1	23,053	23,053
2	17,195	40,249
3	11,244	51,493
4	8,807	60,300
5	6,153	66,453
6	5,490	71,944

Figure 4: Graphique de répartition des PC en fonction de leur pourcentage de variance, groupe Femme

L'ACP a mis en évidence 6 PC pour lesquelles les pourcentages de variance exprimés étaient supérieurs à 5%. Seules les PC responsables de plus de 5% de variation ont été analysées. Cependant, nous simplifierons en détaillant uniquement les PC de 1 à 3 (responsables de 51,5% de la variance totale) (Cf. Annexe 1 pour les PC4-6).

Analyse de PC1

PC1 exprime 23,1 % de la variance totale. Autrement dit, les régions de la mandibule qui varient sur PC1 représentent environ un quart des variations morphologiques des 30 mandibules féminines. Le graphique ci-dessous (Figure 5) montre la répartition des mandibules sur PC1 et PC2. Sur ce graphique, le point "0,0" correspond à la mandibule "moyenne" procruste.

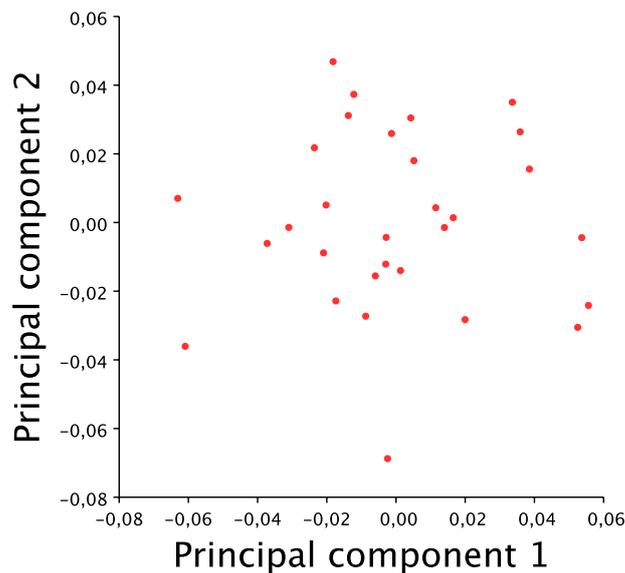


Figure 5: Répartition des 30 mandibules féminines sur PC1 et PC2

Le point de coordonnée "0,0" correspond à la mandibule "moyenne" Procruste Femme.

La majorité des mandibules sont situées entre les valeurs -0,02 et +0,02.

Afin d'exagérer les variations morphologiques sur PC1, et donc de mieux les apprécier visuellement, nous avons modifié l'échelle des variations entre -0,1 et +0,1. Les mandibules ainsi obtenues (Figure 6) ne correspondent pas une patiente réelle mais à une patiente virtuelle possédant des variations extrêmes rencontrées sur PC1.

Nous avons représenté les variations morphologiques à l'aide d'un "Wireframe Graph" (graphique filaire) qui permettait de visualiser les variations en 2D. Nous avons choisi de présenter ces variations dans les plans transversal et sagittal.

PC1

-0,1

+0,1

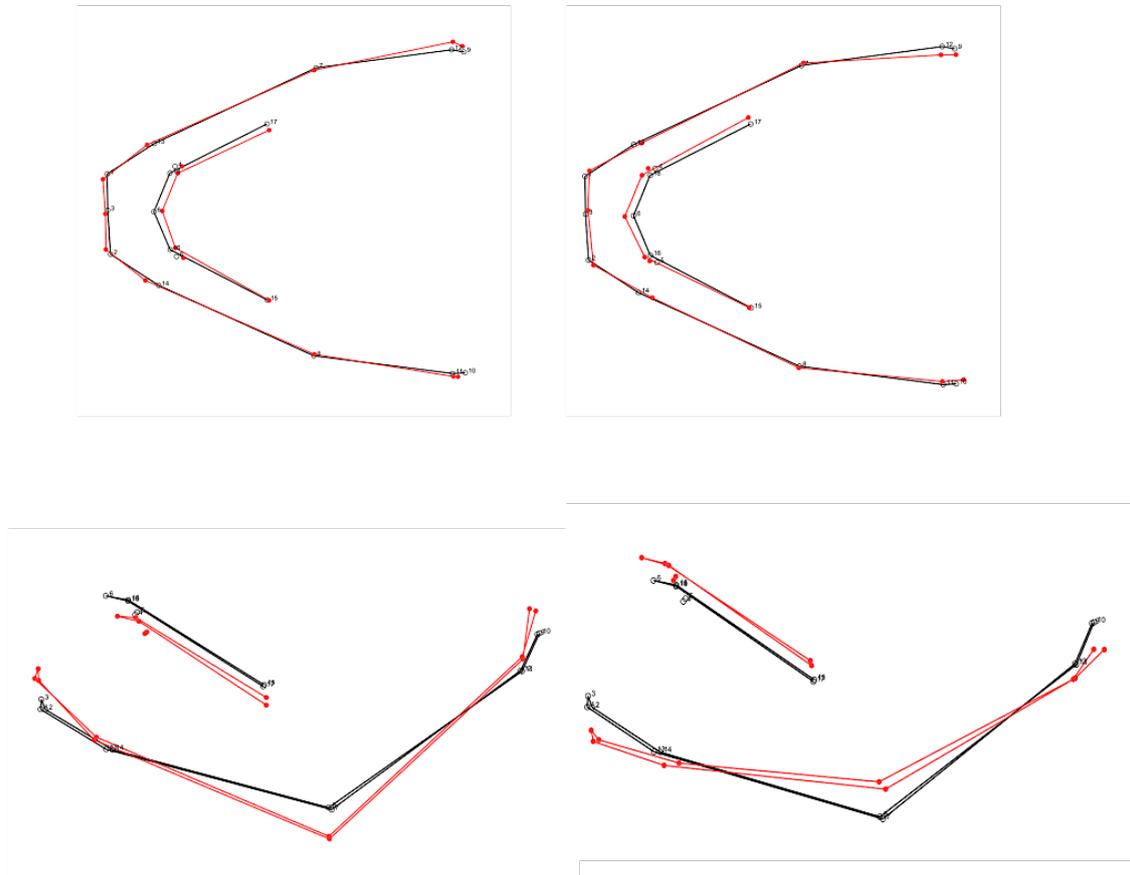


Figure 6: Représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC1 pour les valeurs -0,1 et +0,1
Les différentes coordonnées procruste des LM sont reliées. La mandibule de couleur noire est la mandibule "procruste féminine", autrement dit, la mandibule moyenne du groupe Femme. La mandibule rouge représente la mandibule féminine extrême sur PC1 pour les valeurs -0,1 et +0,1.

L'analyse visuelle permet de se rendre compte que les principales variations morphologiques responsables de 23,1% de la variance totale de notre échantillon (PC1) se situent essentiellement au niveau de l'angle goniale et de la hauteur symphysaire (Figure 7).

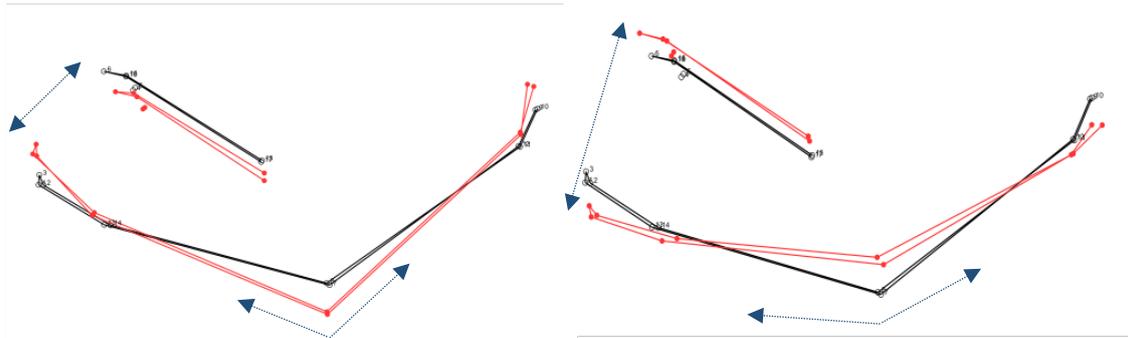


Figure 7: Représentation des variations morphologiques les plus importantes sur PC1 pour les valeurs -0,1 et +0,1

Les flèches en pointillés bleus représentent les variations de la hauteur symphysaire et de l'angle goniale.

Il est intéressant de remarquer que ce résultat coïncide avec l'analyse morphométrique traditionnelle, puisque ces deux variables possèdent les coefficients de variation les plus élevés (Tableau 4 et 5).

Analyse de PC2

PC2 exprime 17,2% de la variance totale. L'analyse de la distribution des mandibules sur PC2 (Figure 8) met en évidence une répartition homogène avec une concentration des mandibules autour de la valeur moyenne.

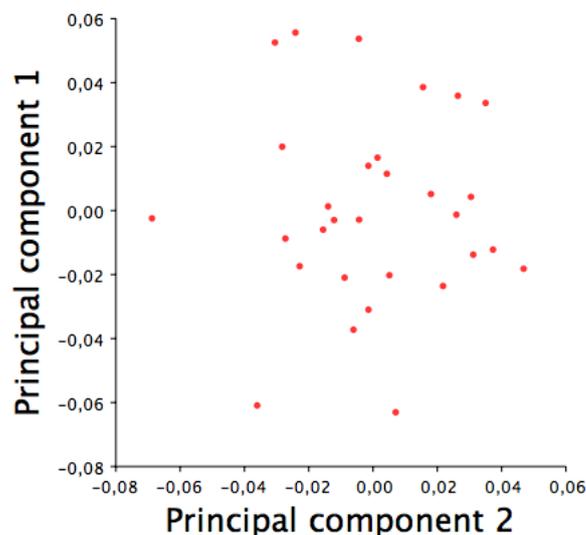


Figure 8: Répartition des 30 mandibules féminines sur PC2

Le point "0,0" correspond à la mandibule "moyenne" procruste.

La majorité des mandibules sont situées entre les valeurs -0,04 et +0,04.

Nous avons également modifié l'échelle des variations entre -0,1 et +0,1 afin de mieux apprécier les variations morphologiques sur le graphique filaire (Figure 9).

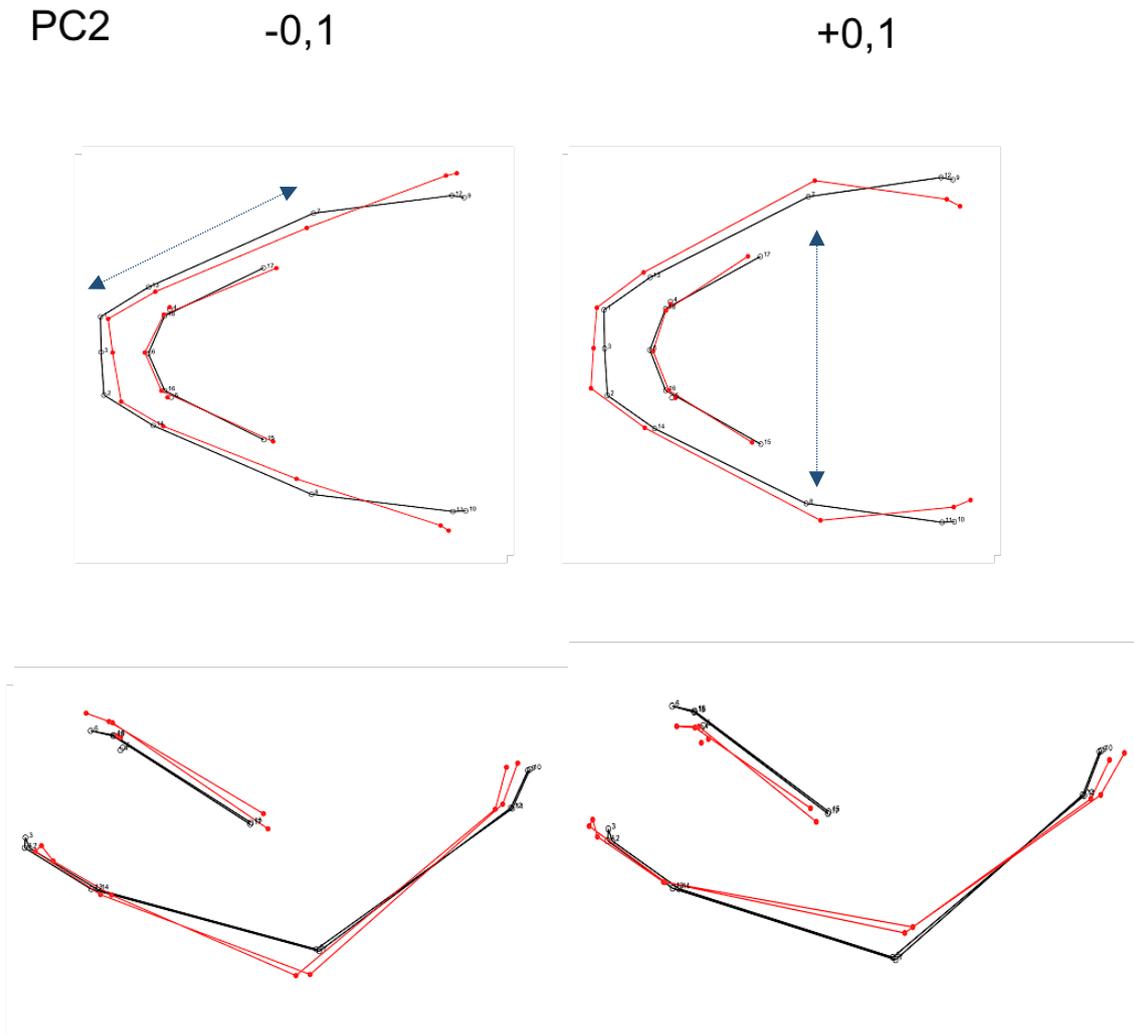


Figure 9: Représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC2 pour les valeurs -0,1 et +0,1
Les différentes coordonnées procruste des LM sont reliées. La mandibule de couleur noire est la mandibule "procruste féminine", autrement dit, la mandibule moyenne du groupe Femme. La mandibule rouge représente la mandibule féminine extrême sur PC2 pour les valeurs -0,1 et +0,1. Les flèches en pointillés bleus représentent les variations de la longueur de la branche horizontale basilaire et de la distance bi-goniaque.

L'analyse visuelle permet de se rendre compte que les principales variations morphologiques exprimées par PC2 qui se situent essentiellement au niveau basilaire (les représentations géométriques des parties alvéolaires se superposant). L'angle basilaire, la longueur de la branche horizontale basilaire, la longueur bi-goniaque ainsi que la position de la branche montante (axe condyle-gonion, non étudié dans ce projet) sont les

paramètres les plus variables sur PC2. A noter également les variations de l'angle goniale et de la hauteur symphysaire toujours présentes sur PC2.

Analyse de PC3

PC3 exprime 11,2 % de la variance totale. L'analyse de la distribution des mandibules sur PC3 (Figure 10) met en évidence une répartition homogène avec une concentration des mandibules entre les valeurs -0,04 et +0,04.

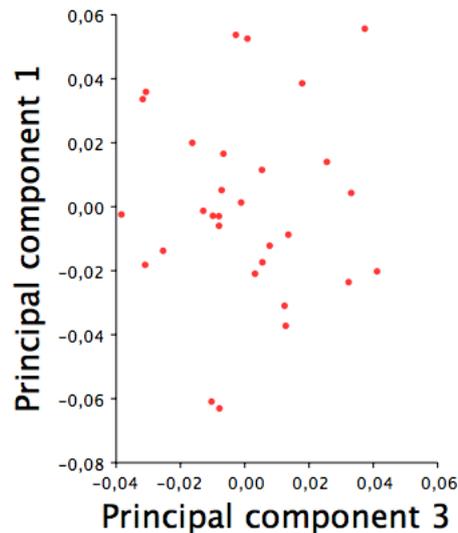


Figure 10: Répartition des 30 mandibules féminines sur PC3

Contrairement aux deux premières PC, la hauteur symphysaire ne varie pas sur PC3. Les paramètres les plus variables sur PC3 sont l'angle canin, la longueur de la portion dentée, l'angle basilaire, la longueur de la branche horizontale basilaire ainsi que l'angle goniale (Figure 11).

PC3

-0,1

+0,1

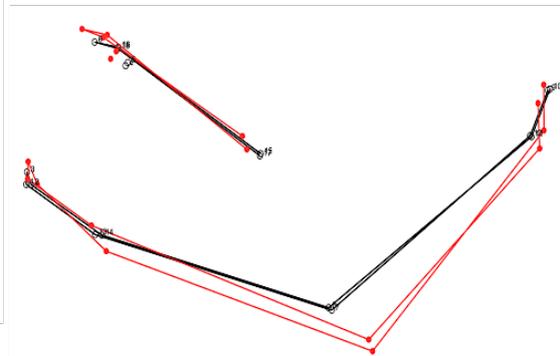
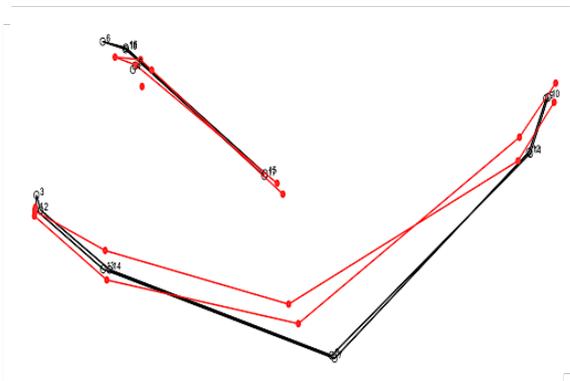
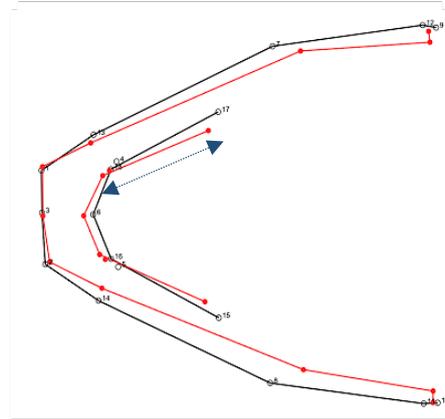
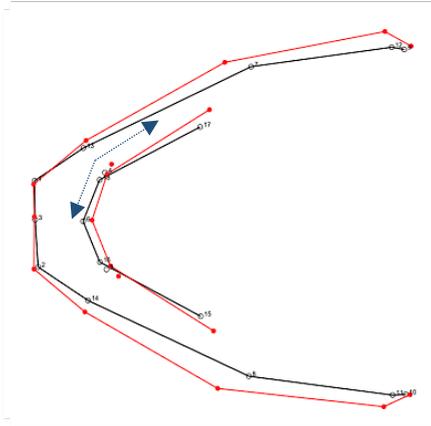


Figure 11: Représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC3 pour les valeurs -0,1 et +0,1
Les différentes coordonnées procrustes des LM sont reliées. La mandibule de couleur noire est la mandibule "procruste féminine", autrement dit, la mandibule moyenne du groupe Femme. La mandibule rouge représente la mandibule féminine extrême sur PC3 pour les valeurs -0,1 et +0,1. Les flèches en pointillés bleus représentent les variations de l'angle canin et de la longueur de la portion dentée.

Les analyses des PC4-6 sont présentées en Annexe 1. Il apparaît que :

- PC4 et PC5 représentent essentiellement la variation de longueur de la symphyse basilaire
- Les variations représentées par PC6 concernent essentiellement la portion alvéolaire.

2. Homme

a) Analyse descriptive métrique

Les valeurs mesurées pour chaque angle sont colligées dans le Tableau 6. Les mesures bilatérales sont considérées comme symétriques, en acceptant une différence de 2,1° maximum (angle basilaire).

Angles (n=30)	Moyenne (degrés) ± ET	Coefficient de variation
Angle goniale droit	125,9 ± 5,7	4,5%
Angle goniale gauche	125,4 ± 6,1	4,9%
Angle canin droit	114,2 ± 4,8	4,2%
Angle canin gauche	112,9 ± 4,3	3,8%
Angle basilaire droit	119,2 ± 6,9	5,8%
Angle basilaire gauche	117,1 ± 5,6	4,8%

Tableau 6: Analyse statistique descriptive des différents angles étudiés dans le groupe Homme
ET : écart-type ; coefficient de variation : dispersion des données autour de la moyenne

Les valeurs mesurées pour chaque longueur sont colligées dans le Tableau 7 : comme dans le groupe Femme, la longueur de la symphyse basilaire est la variable avec le coefficient de variation le plus important (15,6%).

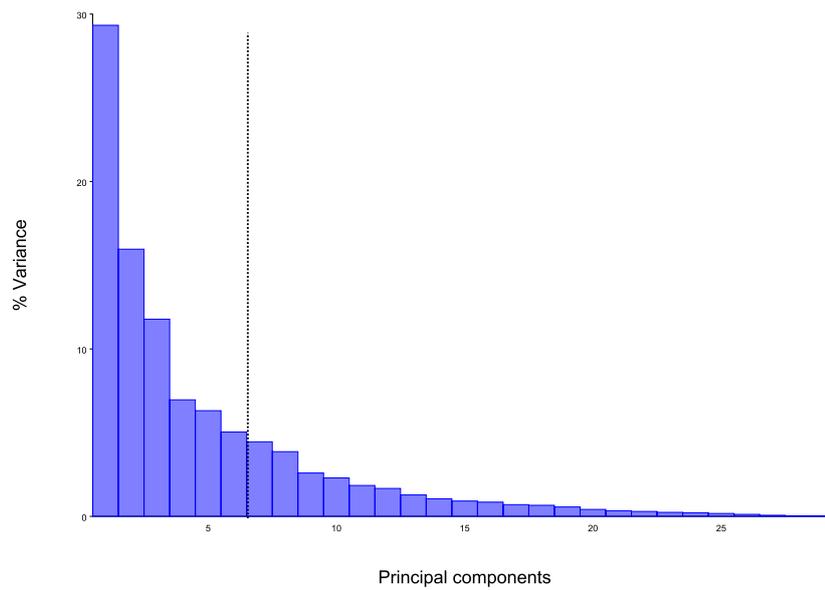
Longueurs (n=30)	Moyenne (cm) ± ET	Coefficient de variation
Dimension verticale postérieure droite	6,5 ± 0,6	8,7%
Dimension verticale postérieure gauche	6,4 ± 0,5	8,4%
Longueur portion dentée horizontale droite	4,0 ± 0,3	6,3%
Longueur portion dentée horizontale gauche	4,0 ± 0,3	7,6%
Longueur branche horizontale basilaire droite	8,0 ± 0,6	7,0%
Longueur branche horizontale basilaire gauche	8,2 ± 0,6	7,2%
Longueur symphyse basilaire	3,0 ± 0,5	15,6%
Longueur symphyse alvéolaire	2,9 ± 0,2	7,4%
Hauteur symphysaire	3,1 ± 0,3	8,3%
Longueur bi-goniaque	9,6 ± 0,6	6,6%

Tableau 7: Analyse statistique descriptive des différentes longueurs étudiées dans le groupe Homme
ET : écart-type ; coefficient de variation : dispersion des données autour de la moyenne

Les valeurs Homme-Femme sont comparées avec l'étude du dimorphisme sexuel.

b) Analyse par morphométrie géométrique

Nous avons réalisé une ACP des mandibules masculines selon le même protocole que décrit précédemment.



PC	% Variance	% Cumulé
1	29,327	29,327
2	15,957	45,284
3	11,777	57,061
4	6,960	64,021
5	6,311	70,332
6	5,037	75,369

Figure 12: Graphique de répartition des PC en fonction de leur pourcentage de variance, groupe Homme

L'ACP a mis en évidence 6 PC pour lesquelles les pourcentages de variance exprimés étaient supérieurs à 5%. Cependant, nous simplifierons en détaillant uniquement les PC 1-3 (responsables de 57,061 % de la variance totale) (Cf. Annexe 2 pour les PC4-6).

Analyse de PC1

PC1 exprime 29,3 % de la variance totale. Autrement dit, les régions de la mandibule qui varient sur PC1 représentent plus d'un quart des variations morphologiques des 30 mandibules masculines. Afin de déterminer l'amplitude et la localisation de ces variations, nous avons analysé la répartition des mandibules sur le graphique des PC scores. La figure 13 montre la répartition des mandibules sur PC1 et PC2.

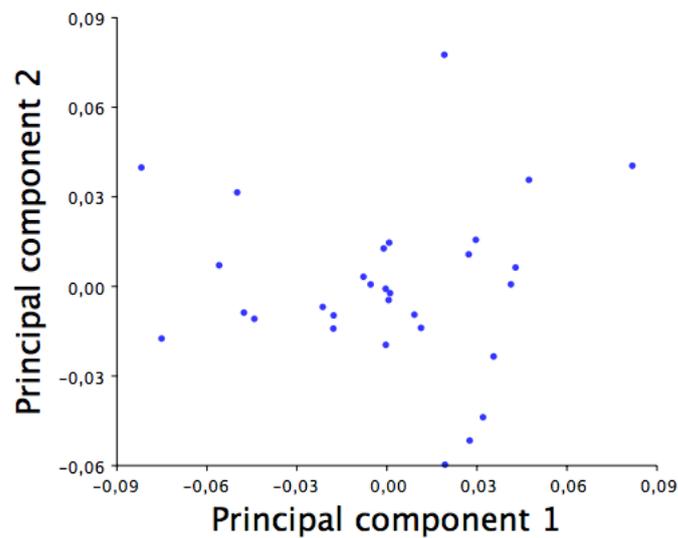


Figure 13: Répartition des 30 mandibules masculines sur PC1

Nous remarquons une répartition assez étendue, essentiellement située entre les valeurs -0,06 et +0,06.

Nous avons modifié l'échelle des variations entre -0,1 et +0,1 afin de mieux apprécier les variations morphologiques sur le graphique filaire (Figure 14).

PC1

-0,1

+0,1

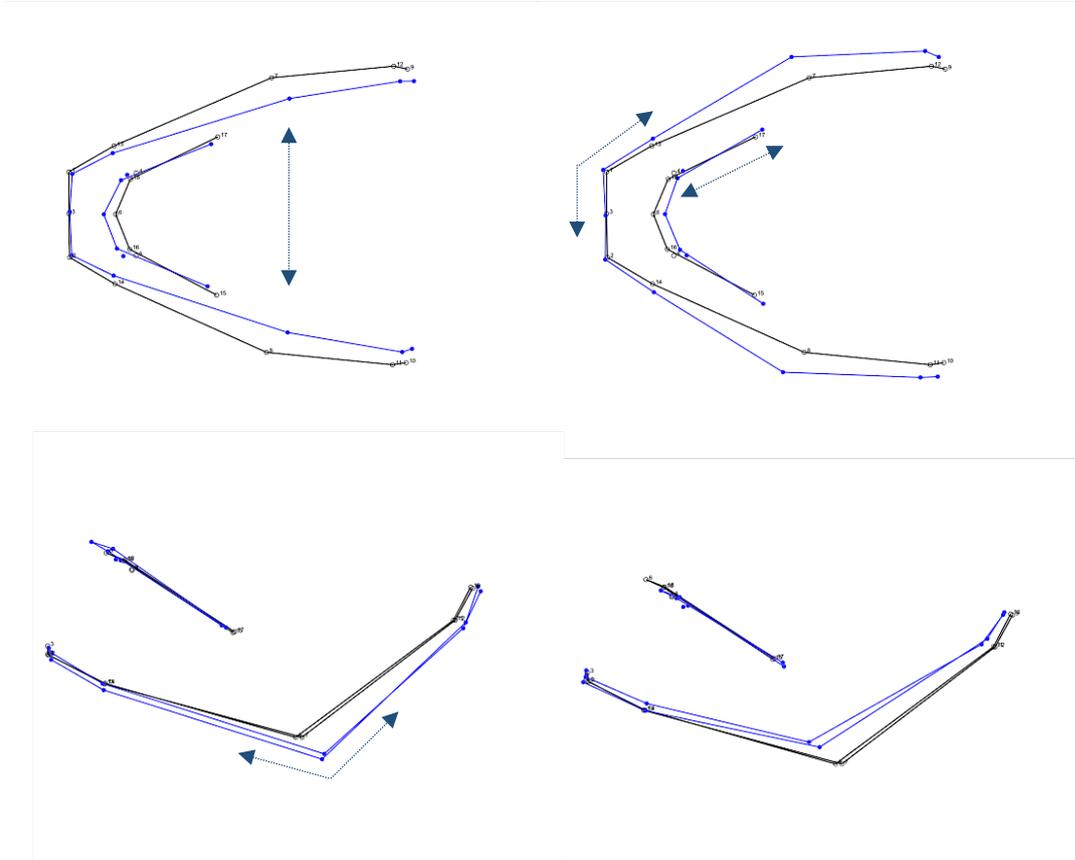


Figure 14: Représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC1 pour les valeurs -0,1 et +0,1
 Les différentes coordonnées procrustes des LM sont reliées. La mandibule de couleur noire est la mandibule "procruste masculine", autrement dit, la mandibule moyenne du groupe Homme. La mandibule bleue représente la mandibule masculine extrême sur PC1 pour les valeurs -0,1 et +0,1.
 Les flèches en pointillés bleus représentent les variations de l'angle basilaire, de la distance bi-goniaque, de l'angle goniale et de la longueur de la portion dentée.

L'analyse visuelle permet de se rendre compte que les principales variations morphologiques sur PC1 se situent essentiellement au niveau de l'angle basilaire, de la distance bi-goniaque, de la longueur de la portion dentée horizontale et de l'angle goniale.

Analyse de PC2

PC2 exprime 16,0 % de la variance totale. L'analyse de la distribution des mandibules sur PC2 (Figure 15) met en évidence une répartition essentiellement entre les valeurs -0,03 et +0,06 avec une concentration des mandibules autour de la valeur moyenne.

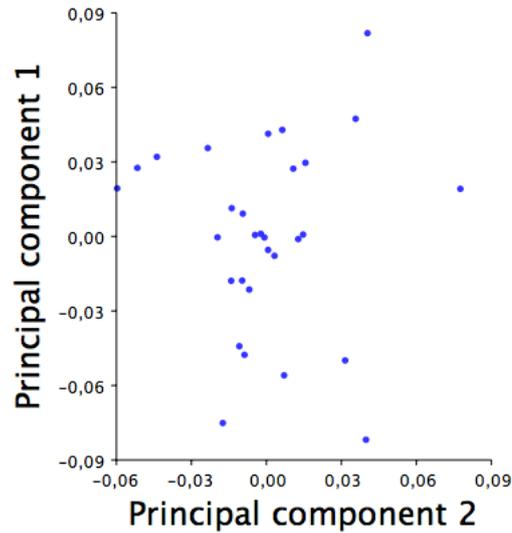


Figure 15: Répartition des 30 mandibules masculines sur PC2

Le point "0,0" correspond à la mandibule "moyenne" procruste.

La majorité des mandibules sont situées entre les valeurs -0,03 et +0,06.

L'analyse visuelle des variations morphologiques sur PC2 aux valeurs extrêmes -0,1 et +0,1 permet de se rendre compte que ces variations se situent préférentiellement au niveau de la hauteur symphysaire et de l'angle goniale.

PC2

-0,1

+0,1

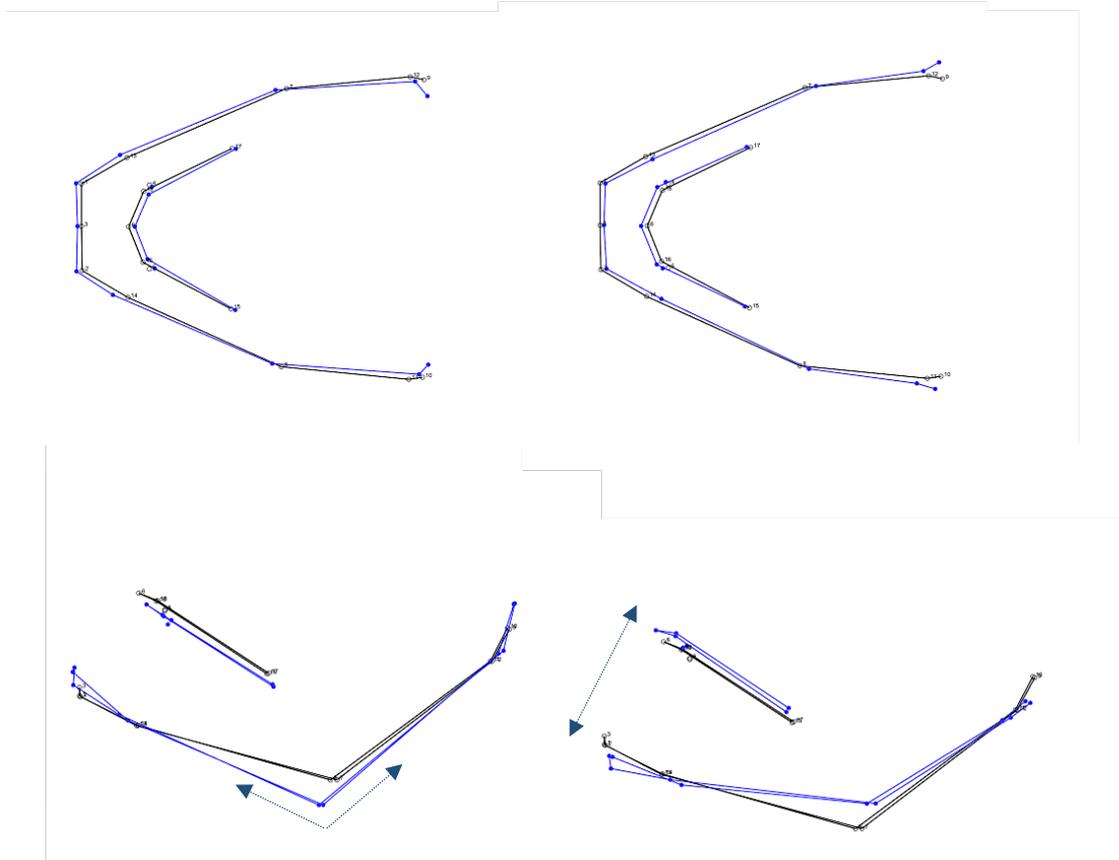


Figure 16: Représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC2 pour les valeurs -0,1 et +0,1
La mandibule de couleur noire est la mandibule "procruste masculine", autrement dit, la mandibule moyenne du groupe Homme. La mandibule bleue représente la mandibule masculine extrême sur PC2 pour les valeurs -0,1 et +0,1.
Les flèches en pointillés bleus représentent les variations de la hauteur symphysaire et de l'angle goniale.

Analyse de PC3

PC3 exprime 11,8 % de la variance totale. L'analyse de la distribution des mandibules sur PC3 (Figure 17) met en évidence une répartition essentiellement entre les valeurs -0,03 et +0,03 avec une concentration des mandibules autour de la valeur moyenne.

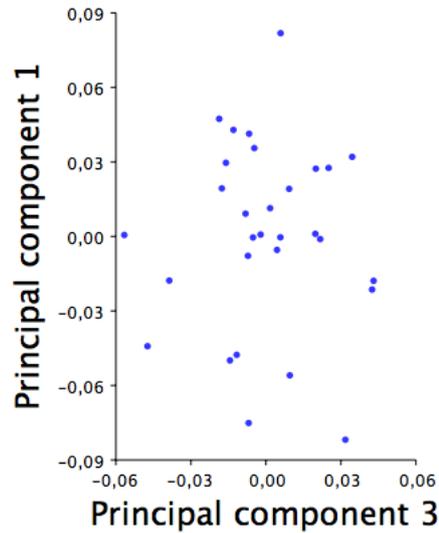


Figure 17: Répartitions des 30 mandibules masculines sur PC3

L'analyse visuelle des variations morphologiques sur PC3 aux valeurs extrêmes -0,1 et +0,1 permet de se rendre compte que ces variations se situent préférentiellement au niveau de la longueur de la symphyse basilaire, la longueur de la branche horizontale basilaire, l'angle goniale et la dimension verticale postérieure.

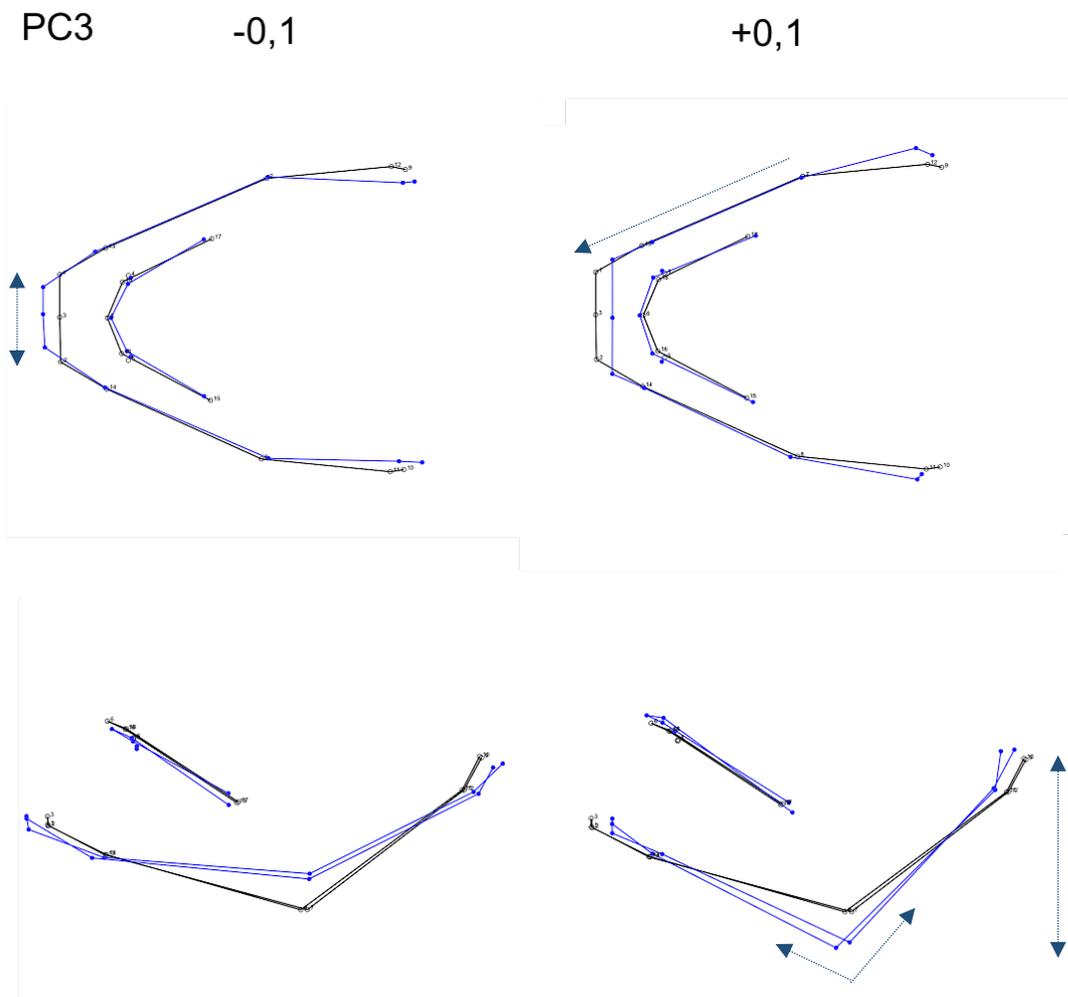


Figure 18: Représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC3 pour les valeurs -0,1 et +0,1
 La mandibule de couleur noire est la mandibule "procruste masculine", autrement dit, la mandibule moyenne du groupe Homme. La mandibule bleue représente la mandibule masculine extrême sur PC3 pour les valeurs -0,1 et +0,1.

Les flèches en pointillés bleus représentent les variations de la longueur de la symphyse basilaire, de la longueur de la branche horizontale basilaire, de l'angle goniale et de la dimension verticale postérieure.

C. DIMORPHISME SEXUEL DE LA MANDIBULE

1. Analyse métrique

L'asymétrie entre les deux "hémi-mandibules" était susceptible de perturber l'analyse du dimorphisme sexuel. Nous avons donc réalisé une moyenne pour chaque variable bilatérale dans chacun des groupes.

Concernant les angles étudiés, il existe une différence statistiquement significative entre les deux groupes pour l'angle goniale uniquement : l'angle est plus obtus dans le groupe Femme (128,9° vs 125,7°, $p=0,011$) (Tableau 8, Figure 19).

Les angles canin et basilaire sont également plus ouverts dans le groupe Femme, sans que cette différence soit statistiquement significative.

Angles Moyenne (degrés) ± ET	Femme	Homme	p
Angle goniale	128,9 ± 8,9	125,7 ± 5,9	0,011
Angle canin	114,6 ± 3,7	113,6 ± 4,6	0,74
Angle basilaire	120,3 ± 6,2	118,2 ± 6,3	0,16

Tableau 8: Dimorphisme sexuel observé pour les différents angles étudiés
n=30 dans chacun des groupes étudiés

Dimorphisme sexuel observé pour les différents angles étudiés

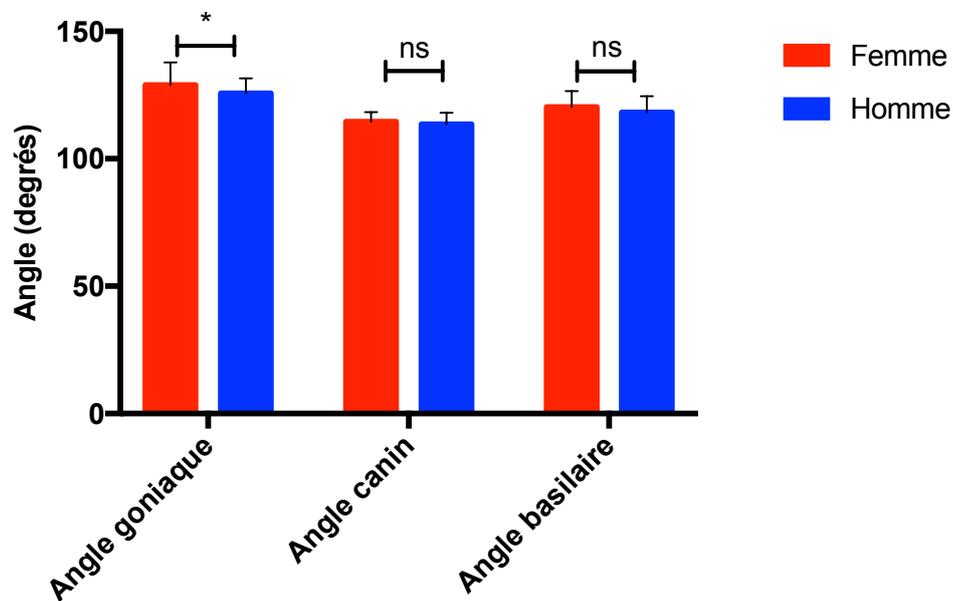


Figure 19: Histogramme permettant de visualiser le dimorphisme sexuel pour les différents angles
ns : non significatif
** : $p < 0,05$*

Concernant les différentes longueurs étudiées (Tableau 9, Figure 20), il apparaît que :

- La dimension verticale postérieure est statistiquement plus grande dans le groupe Homme que dans le groupe Femme (5,9cm vs 6,4cm, $p < 0,0001$)

- Il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les groupes pour la longueur de la portion dentée horizontale (de la canine à la face distale de la deuxième molaire) et la longueur de la symphyse alvéolaire
- La longueur de la branche horizontale basilaire est statistiquement plus grande dans le groupe Homme que dans le groupe Femme (8,0cm vs 7,3cm, $p < 0,0001$)
- La longueur de la symphyse basilaire est statistiquement plus grande dans le groupe Homme que dans le groupe Femme (3,0cm vs 2,5cm, $p < 0,0001$)
- La longueur de la hauteur symphysaire est statistiquement plus grande dans le groupe Homme que dans le groupe Femme (3,1cm vs 2,7cm, $p = 0,001$)
- La longueur de longueur bi-goniaque est statistiquement plus grande dans le groupe Homme que dans le groupe Femme (9,6cm vs 8,8cm, $p < 0,0001$)
- Il n'existe pas de différence entre les groupes pour la longueur de la symphyse alvéolaire.

Longueurs Moyenne (cm) \pm ET	Femme	Homme	p
Dimension verticale postérieure	5,9 \pm 0,4	6,4 \pm 0,5	<0,0001
Longueur portion dentée horizontale	3,8 \pm 0,2	4,0 \pm 0,3	0,21
Longueur branche horizontale basilaire	7,3 \pm 0,5	8,0 \pm 0,6	<0,0001
Longueur symphyse basilaire	2,5 \pm 0,3	3,0 \pm 0,5	<0,0001
Longueur symphyse alvéolaire	2,8 \pm 0,2	2,9 \pm 0,2	0,90
Hauteur symphysaire	2,7 \pm 0,3	3,1 \pm 0,3	0,001
Longueur bi-goniaque	8,8 \pm 0,6	9,6 \pm 0,6	<0,0001

Tableau 9: Dimorphisme sexuel observé pour les différentes longueurs étudiées
n=30 dans chacun des groupes étudiés

Les angles sont plus ouverts chez la femme que chez l'homme, mais les distances sont plus importantes chez l'homme que chez la femme.

Dimorphisme sexuel observé pour les différentes longueurs étudiées

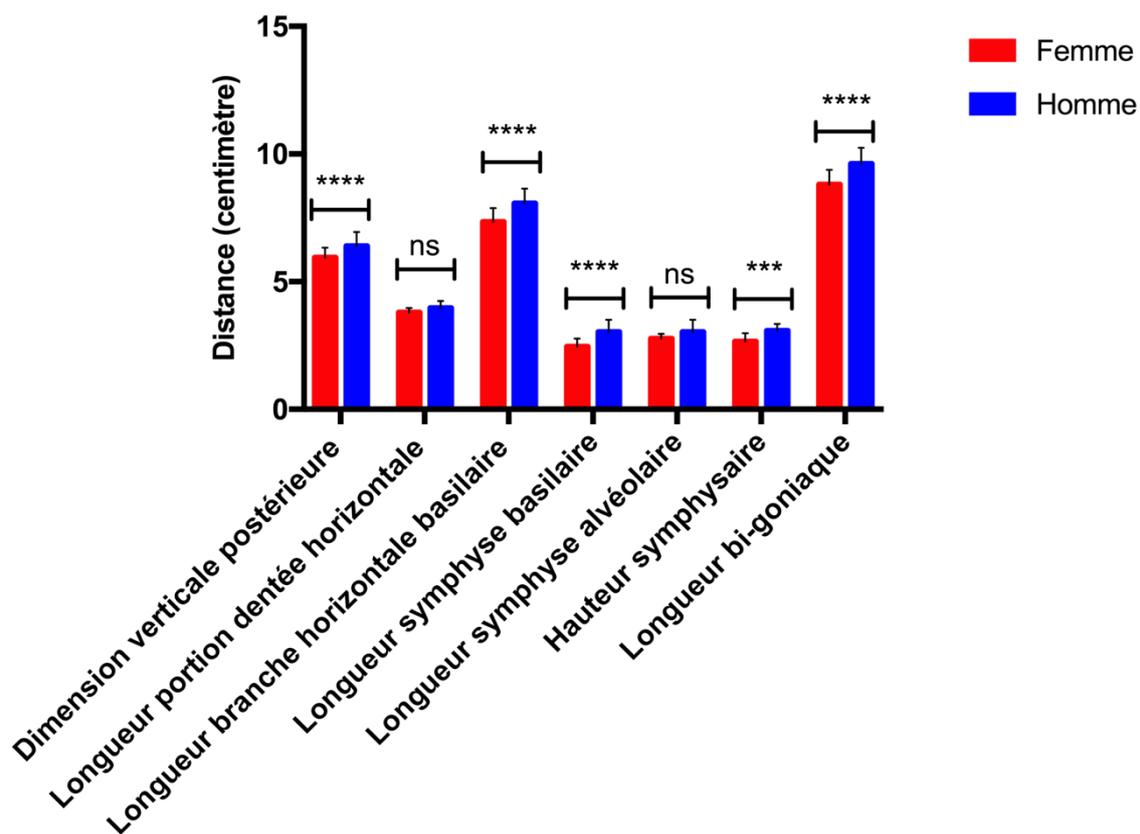


Figure 20: Histogramme permettant de visualiser le dimorphisme sexuel pour les différentes longueurs

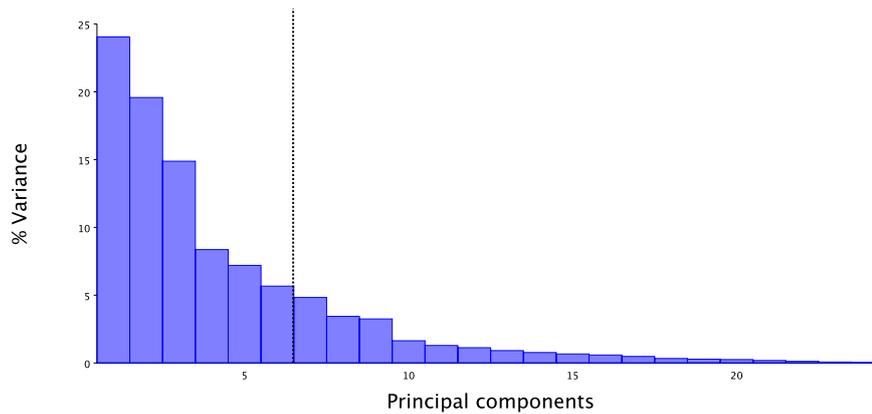
ns : non significatif

*** : $p < 0,001$ **** : $p < 0,0001$

2. Analyse par morphométrie géométrique

Nous avons réalisé une ACP des 60 mandibules selon le même protocole que décrit précédemment.

L'ACP a mis en évidence 6 PC pour lesquelles les pourcentages de variance exprimés étaient supérieurs à 5%, responsables de 79,8% de la variance total (Figure 21). Seules les PC responsables de plus de 5% de variation ont été analysées.



PC	% Variance	% Cumulé
1	24,045	24,045
2	19,580	43,625
3	14,881	58,506
4	8,363	66,869
5	7,198	74,067
6	5,668	79,735

Figure 21: Graphique de répartition des PC en fonction de leur pourcentage de variance, Femme et Homme

En étudiant chacune de ces composantes, seules PC1 et PC4 montrent une dispersion suffisamment importante entre les deux groupes pour traduire un possible dimorphisme sexuel (Figure 22). En effet pour PC2, PC3, PC5 et PC6 les nuages de points représentant respectivement les hommes et les femmes sont confondus, traduisant des morphologies proches entre ces deux groupes.

L'étude de la distribution des 60 mandibules sur les différentes PC a donc permis d'identifier 2 PC exprimant le dimorphisme sexuel : les PC1 et PC4 (Figure 22), responsables de 24,0% et 8,4 % de variance respectivement.

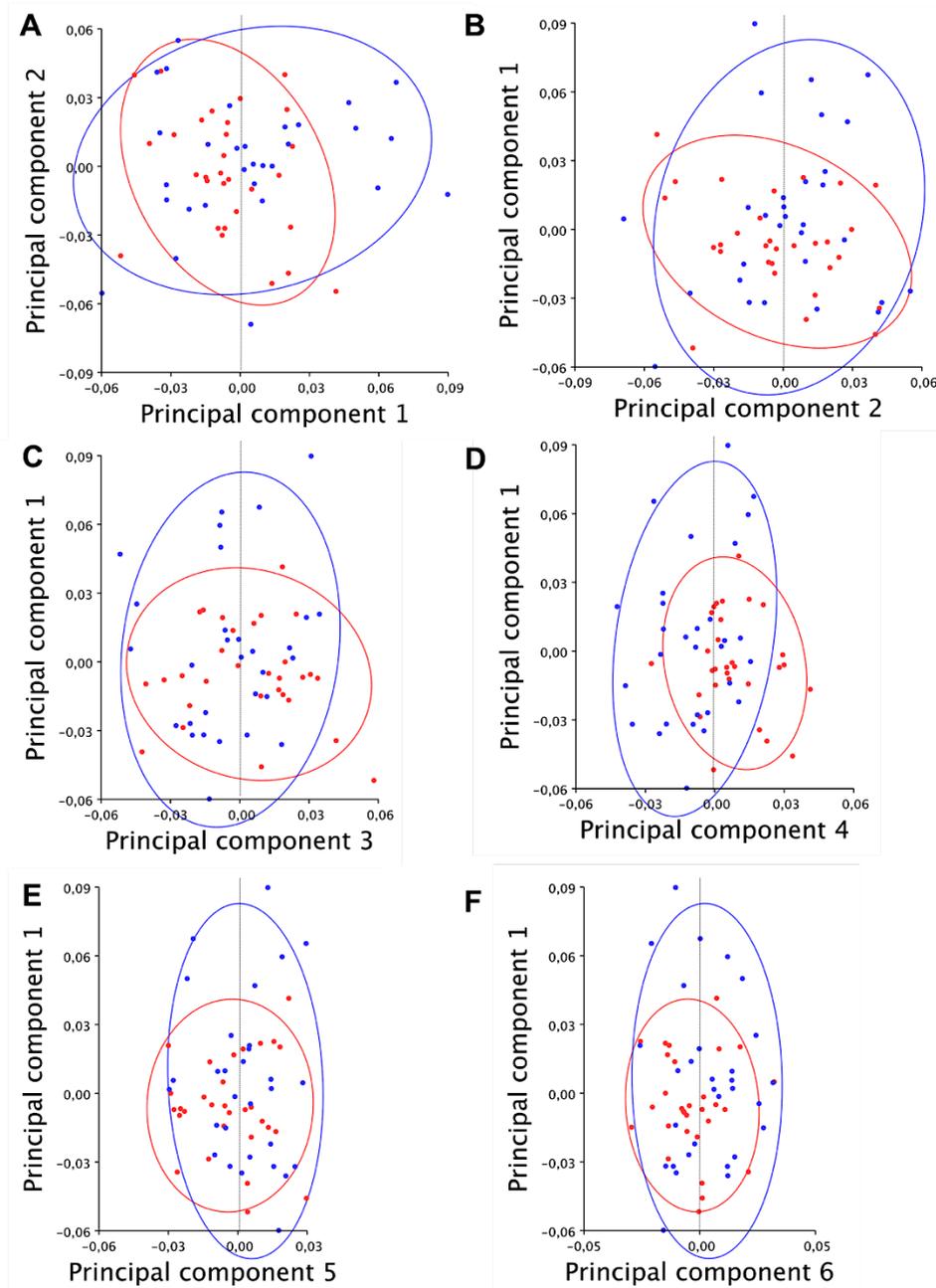


Figure 22: Répartition des 60 mandibules sur les différentes PC analysées, permettant d'identifier des PC responsables de dimorphisme sexuel

Ellipses : ellipses équiprobables : tous les points se situant sur l'ellipse ont la même probabilité ($p=95\%$) d'appartenir à la même population

Bleu : mandibules masculines

Rouge : mandibules féminines

A : Dimorphisme sexuel identifiable sur PC1, les extrêmes positifs (entre 0,04 et 0,09) sont uniquement des mandibules masculines

B : Pas de dimorphisme sexuel sur PC2

C : Pas de dimorphisme sexuel sur PC3

D : Dimorphisme sexuel sur PC4, les extrêmes négatifs étant essentiellement représentés par des mandibules masculines, et les extrêmes positifs par des mandibules féminines

E : Pas de dimorphisme sexuel sur PC5

F : Pas de dimorphisme sexuel sur PC6

Analyse de PC1

L'analyse visuelle des variations morphologiques intersexuelles sur PC1, en prenant pour exemple la valeur extrême +0,1 permet de se rendre compte que ces variations se situent préférentiellement au niveau la longueur de la branche horizontale basilaire, la longueur bi-goniale et la hauteur symphysaire. A noter également une différence de projection mentonnière par rapport au point inter incisif (Figure 23).

PC1 +0,1

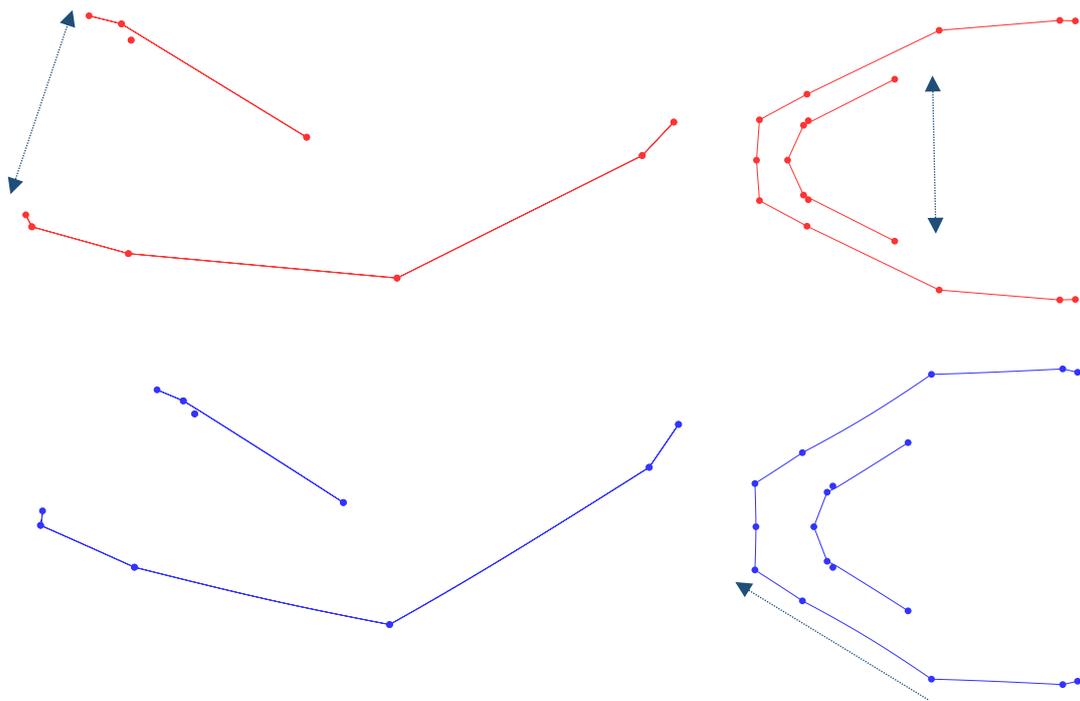


Figure 23: Représentation "Wireframe" des différences de variations Homme-Femme rencontrées sur PC1 pour la valeur extrême +0,1

La mandibule de couleur rouge est la mandibule extrême +0,1 féminine sur PC1. La mandibule bleue représente la mandibule masculine extrême sur PC1 pour les valeurs +0,1.

Les flèches en pointillés bleus représentent les variations intersexuelles responsables de dimorphisme. Sont essentiellement concernées : la longueur de la branche horizontale basilaire, la longueur bi-goniale, la hauteur symphysaire.

Analyse de PC4

L'analyse visuelle des variations morphologiques intersexuelles sur PC4, en prenant pour exemple la valeur extrême +0,1, permet de se rendre compte que ces variations se situent préférentiellement au niveau de la :

- Hauteur symphysaire,
- Longueur de la symphyse basilaire,
- Longueur de la branche horizontale basilaire,
- Longueur bi-goniaque et l'angle basilaire.

Ces variables sont responsables de 8,4% de la variance totale (Figure 24).

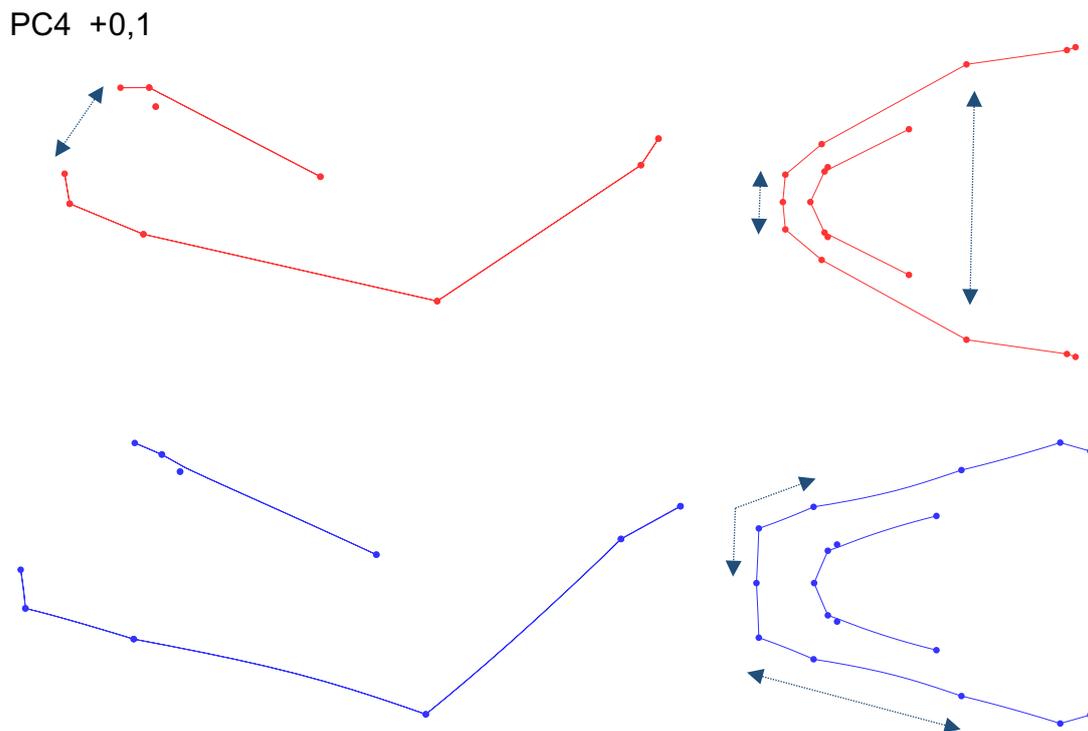


Figure 24: Représentation "Wireframe" des différences de variations Homme-Femme rencontrées sur PC4 pour la valeur extrême +0,1

La mandibule de couleur rouge est la mandibule extrême +0,1 féminine sur PC4. La mandibule bleue représente la mandibule masculine extrême sur PC4 pour les valeurs +0,1.

Les flèches en pointillés bleus représentent les variations intersexuelles responsables de dimorphisme. Sont essentiellement concernés : la hauteur symphysaire, longueur de la symphyse basilaire, la longueur de la branche horizontale basilaire, la longueur bi-goniaque et l'angle basilaire.

Ces variables responsables de dimorphisme correspondent également aux résultats de l'analyse morphométrique traditionnelle (Figures 19 et 20).

Analyse de régression

L'analyse de régression permet de quantifier l'effet de la taille de la mandibule sur sa forme (Cf Annexe 3).

Il apparaît que 14,87% de la variabilité observée sur PC1 est liée à la taille. La différence de taille liée au sexe est significativement responsable d'une part du dimorphisme ($p=0,023$).

De même, 13,56% de la variabilité observée sur PC4 est liée à la taille. La différence de taille liée au sexe est significativement responsable d'une part du dimorphisme ($p=0,005$). La différence de taille liée au sexe a donc un impact significatif sur la forme mandibulaire. Plus la taille augmente, plus la forme est masculine.

Mandibules procruste Femme et Homme

Lorsque l'on compare les variations morphologiques observées entre les mandibules procruste Femme et procruste Homme, on s'aperçoit que ces variations restent minimales, témoignant d'un dimorphisme sexuel peu prononcé pour nos critères étudiés. Elles concernent essentiellement la longueur de la symphyse basilaire, l'angle goniale et la hauteur symphysaire (Figure 25).

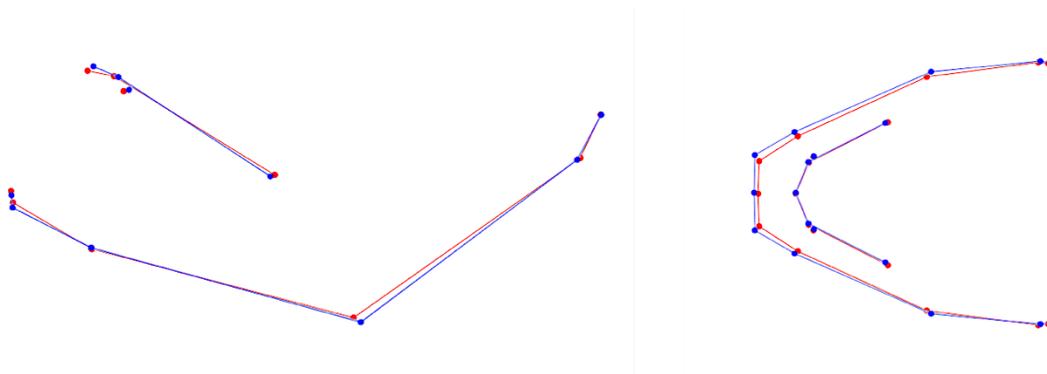


Figure 25: Analyse visuelle des variations rencontrées entre la mandibule procruste Femme et la mandibule procruste Homme

Rouge : Mandibule procruste Femme

Bleu : Mandibule procruste Homme

IV. APPLICATION CLINIQUE

A. CONCEPTUALISATION ET CONCEPTION DU GUIDE

Notre objectif était de concevoir un guide de coupe pour reconstruction mandibulaire par lambeau libre de fibula d'après une analyse morphométrique.

Pour initier ce projet, nous nous sommes intéressés aux pertes de substances osseuses concernant l'ensemble de l'arc mandibulaire antérieur, d'angle à angle.

En effet, étant donné la variabilité de l'angle goniale et son retentissement occlusal, il nous semble indispensable d'adapter la valeur au patient, mesurée sur une téléradiographie de profil préopératoire par exemple.

Au vu du dimorphisme sexuel observé concernant la longueur et les angles basilaires, il nous a également semblé utile de concevoir deux guides de coupe, un pour reconstruction mandibulaire féminine et un pour reconstruction mandibulaire masculine.

1. Pertinence clinique des valeurs mesurées

Nous avons dû nous positionner sur le choix les valeurs en termes de qualité de reconstruction. Il nous est apparu plus pertinent d'assurer une reconstruction "morphologique" (en se basant sur les valeurs basilaires), que "fonctionnelle" (en respectant les valeurs alvéolaires), l'aspect fonctionnel pouvant être récupéré dans un deuxième temps lors de la réhabilitation prothétique par mise en place d'implants déportés par exemple.

Les valeurs précédemment décrites utiles pour notre guide de coupe sont donc :

- L'angle basilaire
- La longueur de la symphyse basilaire
- La longueur de la branche horizontale basilaire.

L'acte chirurgical ne permettant pas une précision de l'ordre du dixième de degrés, nous avons arrondi certaines valeurs (Tableau 10).

	Femme	Homme
Angle basilaire (degrés)	120	118
Symphyse basilaire (centimètres)	2,5	3
Branche horizontale basilaire (centimètres)	7,3 (6)	8 (6)

Tableau 10: Valeurs retenues pour la conception des guides de coupe

Les valeurs de branche horizontale basilaire étant trop importantes, nous avons décidé de façon arbitraire d'utiliser une valeur de 6cm de chaque côté. En effet, le guide était trop long et trop encombrant si l'on respectait les valeurs issues de l'analyse morphométrique. De plus, la valeur de la portion de branche horizontale mandibulaire à reconstruire est souvent mesurée en peropératoire en fonction des observations du chirurgien et des marges carcinologiques à respecter. Cette valeur est donc adaptable.

2. Design et conception du guide

La conception du prototype du guide résulte d'un échange permanent entre les chirurgiens du service habitués à manipuler des guides de coupe et le laboratoire de biomécanique. Le design du guide a évolué au fil des réflexions, comme le montre la Figure 26. Notre intention première était de simplifier au maximum la conception du guide pour qu'il soit facilement utilisable.

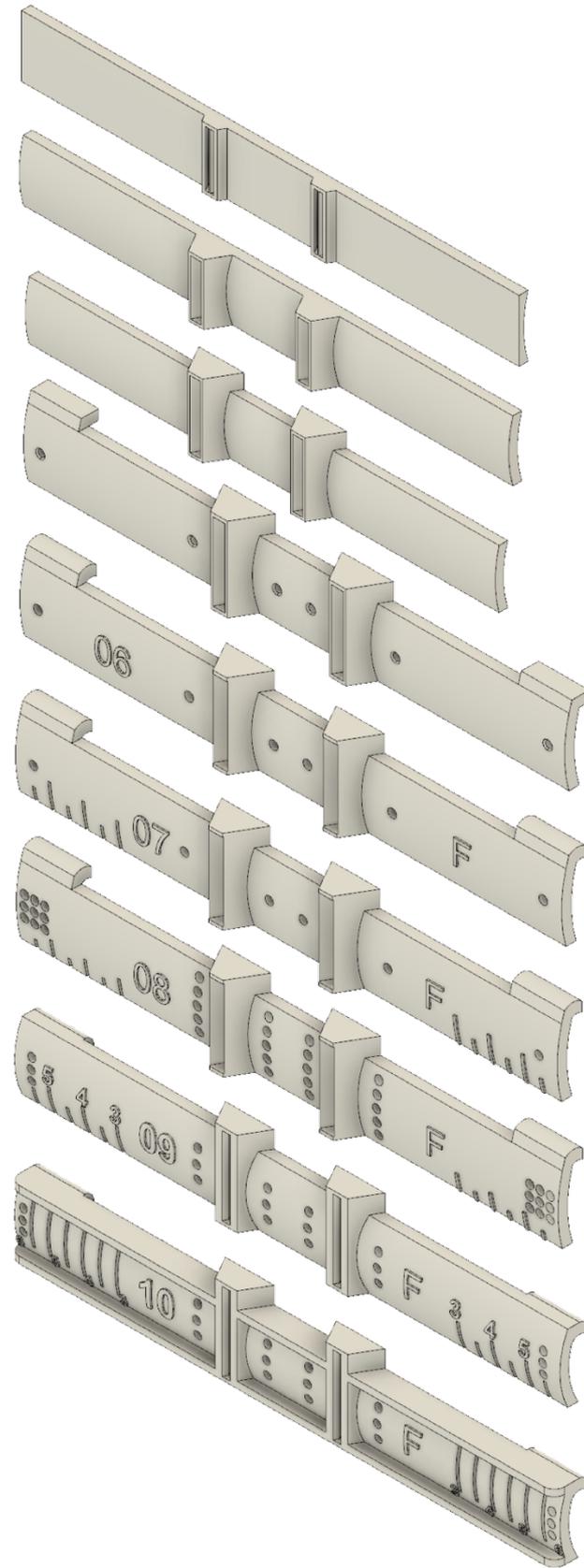


Figure 26: Évolution de la conceptualisation du guide
Version 10F fourni avec le manuscrit.

La première réflexion portait sur le choix du matériel chirurgical. En effet, afin de standardiser la reconstruction, nous avons dû choisir entre l'utilisation d'une lame ou d'une fraise fissure (fraise de Lindeman) pour la réalisation des ostéotomies. Nous avons choisi de façon arbitraire une lame (Stryker, Precision Thin, Ref 2296-003-111) qui était déjà utilisée par la majorité des chirurgiens du service. L'ostéosynthèse était réalisée par l'utilisation de plaque Stryker 2 avec pont large (Ref 55-08205).

La seconde réflexion portait sur la réalisation des ostéotomies.

Il est possible de "guider" les ostéotomies, c'est à dire de contraindre la découpe osseuse afin d'obtenir une meilleure précision de la coupe. En effet, il est admis que les ostéotomies guidées offrent une meilleure découpe osseuse, notamment en termes de congruence des surfaces osseuses lors de l'ostéosynthèse (16). Nous avons réalisé un système de fente, assez étroit, pour contraindre la section au maximum et éviter les imprécisions chirurgicales secondaires à la position de la lame. Ceci permettait d'obtenir un angle basilaire de 120° pour les femmes et 118° pour les hommes, une longueur de segment symphysaire de 2,5cm pour les femmes et 3cm pour les hommes, conformément à l'analyse morphométrique (Figure 27).

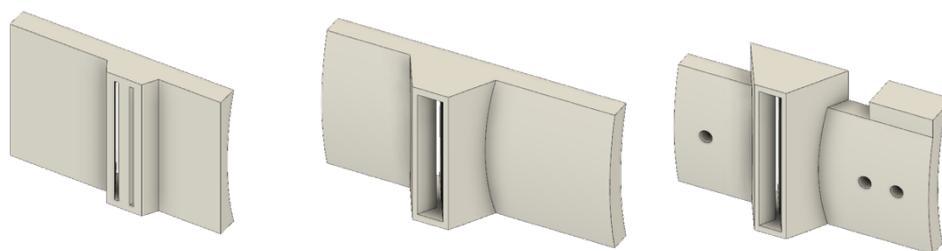


Figure 27: Évolution de la conception du guide pour les ostéotomies fibulaires

Les trous présents sur la version de droite permettent le passage d'un foret et d'une vis afin de fixer le guide sur la fibula (Cf. infra) et le rebord permet de positionner le guide en prenant appui sur le bord antérieur de la fibula.

Nous nous sommes ensuite intéressés à la fixation du guide sur la fibula.

Cette fixation est le plus souvent assurée par vissage. L'emplacement des vis ne devait en rien gêner les ostéotomies et ostéosynthèses, tout en procurant une stabilité du guide suffisante. Nous avons donc réalisé plusieurs séries de trous dans le guide de coupe, afin de pouvoir forer et visser le guide en fonction des observations peropératoires. Les emplacements choisis pour la fixation du guide seraient ensuite réutilisés pour

l'ostéosynthèse afin de limiter le nombre de forages. La fixation était assurée par une vis (Stryker, 10mm de longueur) à chaque extrémité du guide et deux vis de part et d'autre des ostéotomies (Figure 28).

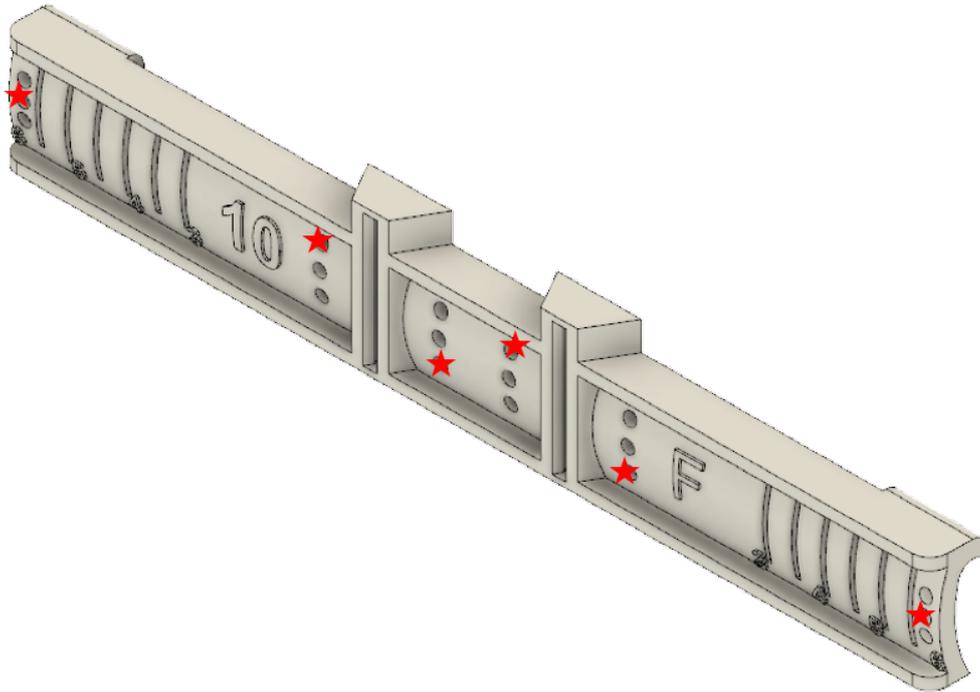


Figure 28: Fixation du guide à la fibula

Les étoiles rouges correspondent aux emplacements éventuels des vis, emplacements choisis en fonction des observations peropératoires.

Guide Femme (F)

La conformation des plaques à la valeur de l'angle souhaitée et/ou le pré-forage permet de guider l'ostéosynthèse (33,34). Ceci permet un gain de temps, ainsi qu'une meilleure précision chirurgicale. Nous avons donc conçu un système pour contraindre la conformation des plaques d'ostéosynthèse à 120° pour les femmes et 118° pour les hommes. Cette conformation est très facile à réaliser et a été conçue pour les plaques Stryker 2 avec petit pont ou grand pont en fonction des besoins et observations peropératoires (Figure 29).

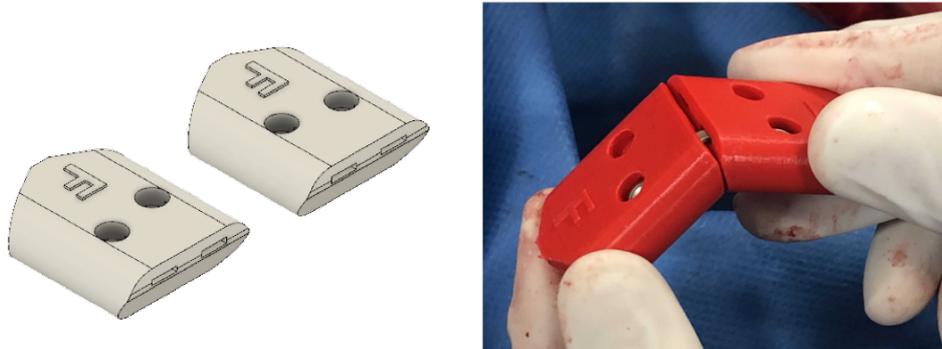


Figure 29: Système de conformation des plaques d'ostéosynthèse

Système pour formation des plaques à 120° pour reconstruction mandibulaire de Femme. Insertion de la plaque Stryker dans les fentes, et plicature jusqu'au contact des 2 conformateurs.

Nous avons également dû définir la longueur de la "branche horizontale basilaire". En effet, l'analyse morphométrique suggérait que cette longueur devait être de 7,3cm pour les femmes et 8cm pour les hommes. Or, le respect de ces valeurs était responsable d'un allongement considérable du guide et d'un encombrement conséquent dans le champ opératoire. De plus, cette valeur de portion de branche horizontale mandibulaire à reconstruire est souvent mesurée en peropératoire en fonction des observations du chirurgien et des marges carcinologiques à respecter. Il s'agit d'une simple mesure de longueur, facile à réaliser et pouvant donc être adaptable. Nous avons donc limité cette longueur de façon arbitraire à 6cm. Afin de faciliter l'adaptation peropératoire du chirurgien, nous avons réalisé un système de mesure par graduation de la longueur de branche horizontale (Figure 30).

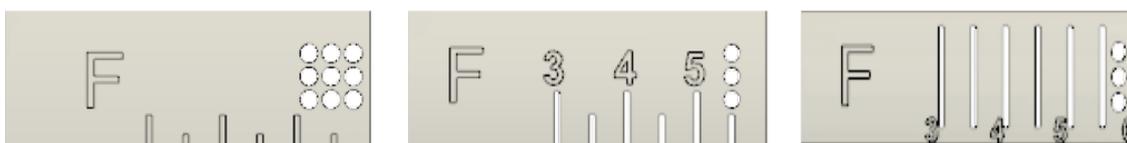


Figure 30: Différents systèmes de graduation permettant d'adapter la longueur pour la reconstruction des branches horizontales mandibulaires

À gauche : graduation en surimpression ; au milieu et à droite : graduation par fentes, permettant d'insérer la lame et de réaliser une prédécoupe.

Les fichiers STL de ces prototypes ont été réalisés avec le logiciel de conception assistée par ordinateur Autodesk Fusion 360, imprimés en acide polyactique (bio-plastique) avec l'imprimante Ultimaker 2+.

B. ÉVALUATION DE LA FAISABILITÉ SUR SUJET CADAVÉRIQUE

Nous avons testé le prototype final au laboratoire d'anatomie de la Faculté de Médecine de Rangueil, afin de mieux appréhender les difficultés techniques potentiellement rencontrées. Les conditions de prélèvement du lambeau de fibula (matériel, technique opératoire et installation) étaient semblables à celles rencontrées au bloc opératoire.

Le cas clinique simulé était celui d'une reconstruction mandibulaire de femme pour prise en charge d'un défaut osseux s'étendant de 3cm de part et d'autre de la symphyse avec nécessité de prélèvement d'une palette cutanée associée.

Nous avons donc utilisé les guides de coupe de reconstruction mandibulaire Femme, afin d'évaluer les avantages et inconvénients de chacun (Figure 31).

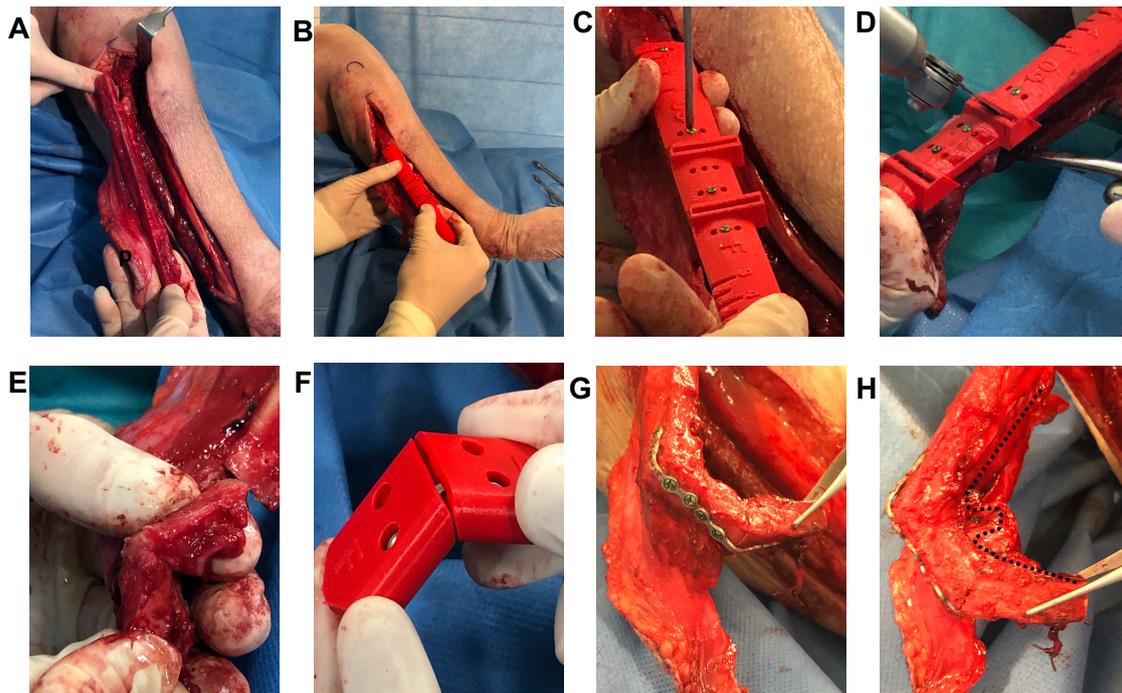


Figure 31: Essai des prototypes sur cadavre

Sujet frais de sexe féminin de 90 ans.

A : Prélèvement d'un lambeau ostéo-septo-cutané de fibula au niveau de la jambe droite, dissection selon la technique habituelle. La réalisation des ostéotomies proximale et distale ainsi que la libération fibulaire de ses attaches musculaires permettent la dissection du pédicule qui chemine le long de la face postérieure. p : palette septo-cutanée

B : Le guide est placé sur la face latérale de la fibula, en fonction des perforantes et de la hauteur d'os nécessaire

C : Fixation du guide par vis de 10mm de longueur

D : Découpage sous-périoste en regard de l'emplacement des ostéotomies et protection du pédicule. Insertion d'une lame Stryker et réalisation des ostéotomies guidées

E : Obtention d'une congruence des surfaces osseuses

F : Conformation des plaques d'ostéosynthèse à 120°

G : L'ostéosynthèse est facilitée par la bonne congruence osseuse et les plaques préformées. Ici une seule plaque par ostéotomie a été posée. Le choix de l'utilisation d'une deuxième plaque est laissé à la liberté du chirurgien

H : Les traits en pointillé représentent le pédicule qui chemine le long de la face postérieure de la fibula. Les ostéotomies sont responsables d'un raccourcissement de la longueur osseuse et donc d'une torsion du pédicule, pouvant retentir sur la vascularisation du lambeau.

Cette séance test a permis de valider la faisabilité d'utilisation du guide. L'utilisation de cet outil chirurgical n'a en rien modifié nos habitudes et techniques chirurgicales. Aucune adaptation du chirurgien n'a été nécessaire.

Cependant, cette mise en pratique a permis de soulever certains points qui méritent une amélioration.

C. ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE LA RECONSTRUCTION

La fibula a donc été conformée (réalisation de l'ostéosynthèse) sur site, conformément à nos habitudes de service.

Nous avons voulu évaluer la qualité de la reconstruction. Après réalisation de la conformation fibulaire, nous avons donc prélevé le lambeau et réalisé une imagerie.

La congruence des surfaces osseuses, la longueur du segment symphysaire et la valeur des angles basilaires ont été étudiés après réalisation d'une imagerie multi-coupe par conebeam petit champ (Figure 32)

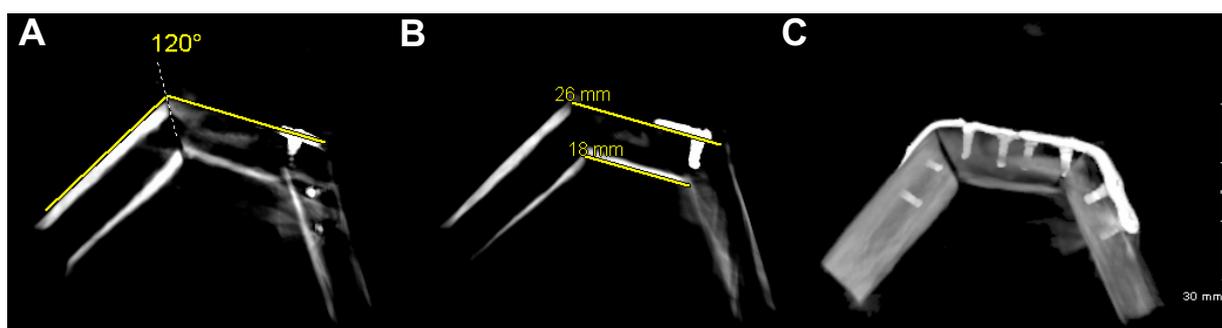


Figure 32: Évaluation 2D de la reconstruction à partir d'un cone beam

A : Évaluation de l'angle basilaire. Notons la qualité de la congruence des surfaces osseuses

B : Évaluation de la longueur du segment symphysaire

C : Reconstruction 3D

Cette analyse est rassurante quant à la cohérence des valeurs observées. Effectivement, nous pouvons observer une longueur de segment symphysaire de 2,6cm (pour un objectif de 2,5cm) et un angle basilaire de 120° (pour un objectif de 120°).

Les valeurs mesurées étaient conformes à la planification préopératoire.

Nous remarquons également une réduction de 70% de la longueur osseuse postérieure du segment symphysaire, ce qui est responsable d'une torsion pédiculaire comme observée Figure 31.

Nous avons donc répondu à notre hypothèse principale initiale : il est possible d'utiliser un guide de coupe de reconstruction mandibulaire par lambeau libre de fibula, conçu à partir d'une analyse morphométrique. Cette utilisation ne modifie pas notre technique chirurgicale, et les résultats postopératoires semblent correspondre à la planification préopératoire.

V. DISCUSSION

A propos de notre population.

L'acquisition des images ayant été réalisée de manière rétrospective et anonyme (seuls l'âge et le sexe ont été reportés), il n'a pas été possible de prendre en compte l'origine ethnique ou géographique des patients, ce qui se rapproche également de notre réalité clinique (panel de patients de toutes origines géographiques). L'écart type étendu reflète notre volonté d'inclure des patients de tous âges, dans la limite du respect des critères d'inclusion et d'exclusion, l'âge n'influençant pas la configuration mandibulaire une fois la croissance de celle-ci terminée.

A propos de l'analyse morphométrique : pertinence clinique des différences observées.

Les résultats de l'analyse morphométrique traditionnelle nous confortent dans l'idée que l'utilisation d'un guide standard reste cohérente puisque nous n'avons pas mis en évidence de différences intra sexuelles importantes. En effet, les coefficients de variation les plus élevés concernaient les paramètres "Angle goniale" "Longueur symphyse basilaire" et "Hauteur symphysaire", avec des écarts types de l'ordre du millimètre. Ces paramètres n'étant pas utilisés pour la conception du guide, nous pouvons donc avancer que l'utilisation d'un guide de coupe standard Homme et d'un guide de coupe standard Femme pour les reconstructions des pertes osseuses mandibulaires s'étendant d'angle à angle est possible, sans aboutir à une incohérence morphologique.

La reconstruction des régions goniales et de la branche montante nous semble être une problématique différente: la variation importante intra et intersexuelle de la valeur de l'angle goniale ainsi que son retentissement fonctionnel occlusal important semblent imposer une reconstruction adaptée à chaque patient: la valeur de l'angle goniale serait mesurée sur une téléradiographie de profil préopératoire et nous pourrions proposer plusieurs guides d'ostéotomies goniales de valeurs différentes, à adapter en fonction de la réalité clinique du patient.

Cette observation coïncide avec la clinique puisque les analyses céphalométriques identifient le type squelettique vertical du patient (hyper, normo ou hypodivergent) en fonction de la valeur de l'angle goniale. L'angle goniale ne peut s'interpréter séparément de l'analyse de l'occlusion du patient.

Concernant l'analyse du dimorphisme sexuel de la mandibule, nos résultats sont cohérents par rapport à ceux retrouvés dans la littérature (35,36). L'angle goniale est plus ouvert chez la femme et les mesures caractérisant le contour basilaire sont plus importantes chez l'homme. Nous n'avons pas mis en évidence de différence concernant les valeurs caractérisant la portion alvéolaire. Le dimorphisme sexuel mandibulaire est depuis longtemps étudié par les anthropologues (37,38). De nombreux paramètres osseux sont sujets à variation, mais sans qu'aucun ne soit vraiment spécifique.

On reconnaît que la forme globale du visage d'un homme est plutôt rectangulaire, alors que les traits sont plutôt arrondis chez la femme(39). Cette observation est multifactorielle et ne dépend pas que des reliefs osseux. En effet, les muscles masséters seraient plus développés chez l'homme (40) ainsi que le tissu adipeux sous-cutané chez la femme (41). Cette considération des parties molles est importante et n'est jamais prise en compte lors de reconstructions mandibulaires car difficile à maîtriser.

Seul le paramètre "longueur de la symphyse basilaire" est considéré dans la conception du guide (2,5cm pour les Femmes et 3cm pour les Hommes). De plus, nous avons respecté la différence de 2° observée concernant la valeur de l'angle basilaire (120° pour les femmes, 118° pour les hommes), sans que cette différence soit statistiquement significative.

Il est donc pertinent de s'interroger sur la nécessité de différencier les reconstructions mandibulaires d'hommes et femmes étant donné que le seul paramètre statistiquement variable fluctue de 5 millimètres. Il faut distinguer la précision "informatique" de la précision "chirurgicale" en s'interrogeant sur la pertinence clinique d'entériner une différence de l'ordre du millimètre. La validation de l'importance de distinction entre reconstructions mandibulaires Homme et Femme fera l'objet d'une nouvelle étude très prochainement afin de répondre à la question : "pouvons-nous proposer un guide de coupe standard unisexe pour reconstruction mandibulaire par lambeau libre de fibula", rendant encore plus désuet l'utilisation des guides de coupes "sur mesure".

A propos de la mise en pratique : améliorations à prévoir

La mise en pratique clinique par utilisation du guide sur cadavre a permis de soulever certains points qui méritent une amélioration.

Concernant la fixation du guide, nous allons rajouter des possibilités de forage et vissage. En effet, les trous situés à l'extrémité distale du guide étaient trop éloignés pour pouvoir être utilisés. De plus, nous nous sommes aperçus qu'il était indispensable d'assurer une stabilité du guide par mise en place de 2 vis minimum par fragment.

Concernant les ostéotomies, nous avons obtenu une très bonne congruence des surfaces osseuses, mais avons raccourci de façon non acceptable la longueur osseuse, entraînant une torsion du pédicule. Cette même observation a été constatée récemment sur une patiente ayant bénéficiée d'une reconstruction mandibulaire par lambeau libre de fibula sans que cette anomalie n'ait entraîné de conséquences cliniques (Figure 33).

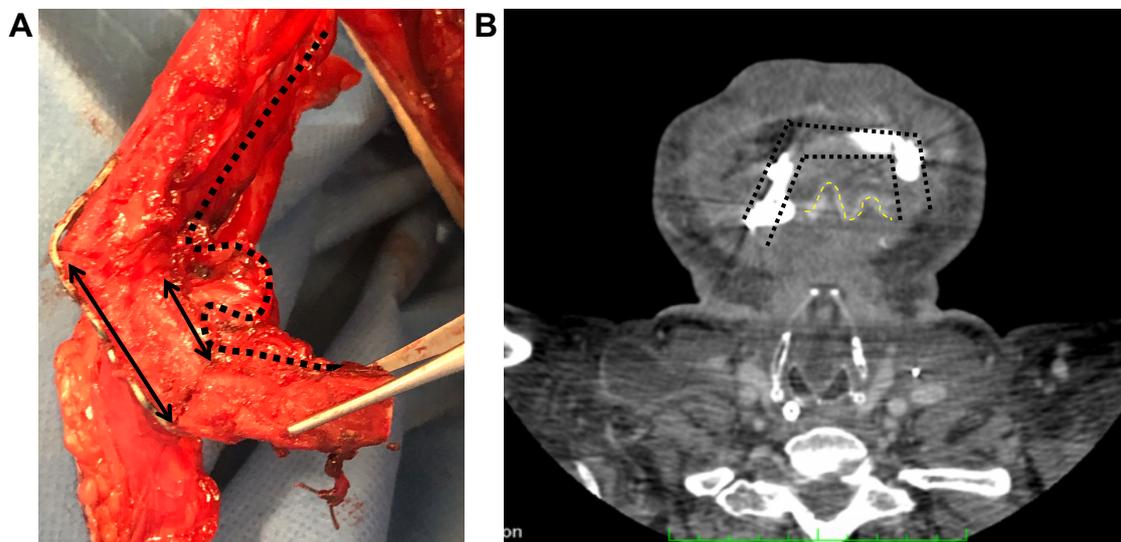


Figure 33: La perte de longueur osseuse secondaire à la réalisation des ostéotomies est responsable d'une torsion du pédicule

A : Mise en pratique réalisée au laboratoire d'anatomie. Les flèches permettent de visualiser la perte de longueur osseuse qui entraîne une torsion pédiculaire (en pointillé)

B : Patiente de 63 ans ayant bénéficiée d'une reconstruction mandibulaire par lambeau libre de fibula. Son TDM cervico-facial injecté postopératoire permet de visualiser également une torsion du pédicule fibulaire (en jaune). Projection de la reconstruction mandibulaire en pointillés noirs

La spatialisation du pédicule et de la palette cutanée en fonction des impératifs de reconstruction seront donc reconsidérés afin de proposer un nouveau prototype. Nous

allons retravailler sur la conception des guides des ostéotomies afin de limiter au maximum cette perte de hauteur osseuse.

Concernant la conformation des plaques d'ostéosynthèse, il nous est apparu que le système de conformation des plaques était très facile à utiliser. Ce guide de conformation nous paraît indispensable car il facilite la conformation et facilite l'ostéosynthèse. Nous obtenons un meilleur positionnement des fragments du fait de la bonne correspondance des surfaces osseuses.

Cependant, lors de la mise en pratique, il nous a semblé que notre système de conformation ne contraignait pas suffisamment la plicature des plaques, du fait d'une probable élasticité de celles-ci. Nous allons donc revoir ce système afin de mieux contraindre la plicature.

Nous aimerions également rajouter un "guide de coupe pour les ostéotomies distales fibulo-mandibulaires" afin d'obtenir une coupe précise perpendiculaire à l'os et une bonne congruence des surfaces osseuses fibulaire et mandibulaire lors de la reconstruction mandibulaire par ostéosynthèse de la fibula sur la mandibule. Hirsh et al proposent également des guides de coupe "fibulo-mandibulaires" (42).

Concernant le type et le nombre de plaque, les habitudes du service sont d'utiliser deux mini-plaques par ostéotomie, même si aucune différence n'a été mise en évidence dans la littérature en termes de qualité de reconstruction mandibulaire entre l'utilisation de plaques de reconstruction et l'utilisation de miniplaques (43).

Il nous paraît utile de contraindre la conformation pour uniquement une plaque/ostéotomie (supérieure ou inférieure), ceci étant suffisant pour obtenir un angle à la valeur souhaitée. Les autres plaques seront conformées en fonction des observations peropératoires.

Nous pensons donc que la conceptualisation du guide de coupe "universel" par rapport au "sur-mesure" n'est pas un retour en arrière. Ponyi et al (44) proposaient déjà en 1990 une étude anatomique mandibulaire afin de faciliter les reconstructions. Les critères étudiés étaient différents des nôtres et ils ne disposaient pas de la technologie actuelle. En s'inspirant de la culture chirurgicale orthopédique, il apparaît que les guides de coupe sur mesure pour arthroplastie n'améliorent pas les résultats postopératoires. De plus, certains auteurs décrivent une discordance entre la planification préopératoire et les constatations

peropératoires, rendant l'utilisation de l'ancillaire sur mesure souvent impossible (23,45,46).

Weitz et al, en partenariat avec KLS Martin (47), ont récemment proposé un guide de coupe pour reconstruction mandibulaire par lambeau libre de fibula avec la même philosophie que la nôtre. Ils proposent une reconstruction de l'angle basilaire à 120° et une longueur de segment symphysaire de 32mm, sans notion de dimorphisme sexuel. La valeur de l'angle basilaire a été déterminée à partir d'une étude scannographique et la longueur symphysaire de façon arbitraire. Cependant, leur guide est composé de multiples pièces détachées qui demandent un temps de montage peropératoire, ce qui diffère de notre volonté de simplicité du guide.

VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'utilisation d'un guide de coupe standard de reconstruction mandibulaire par lambeau libre de fibula conçu à partir de moyenne anatomique de mandibule est possible. La mise en pratique clinique sur cadavre a confirmé la faisabilité du projet et nous a permis de nous rendre compte des paramètres à améliorer.

Cette première étape était donc une introduction au projet FIBUMAND, qui a pour objectif principal d'évaluer la faisabilité d'assister la procédure de reconstruction mandibulaire par fibula grâce à un guide de coupe universel sur patient. Cette étude s'inscrivant dans le cadre d'un projet de recherche clinique, nous devons maintenant répondre aux impératifs administratifs, notamment concernant le choix du biomatériau utilisé pour la fabrication du guide (48).

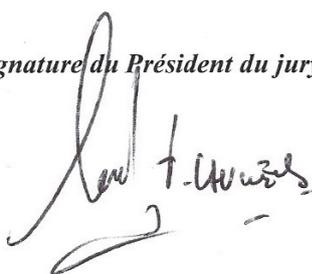
Dans une volonté de concevoir le guide entièrement au CHU et de ne pas sous-traiter la fabrication du guide avec des entreprises extérieures, une étude de marché est en cours pour identifier les imprimantes 3D ainsi que leurs biomatériaux qui correspondraient à nos attentes. Il semblerait que l'imprimante Formlabs Form 2 et sa résine Dental SG soient conformes à toutes nos exigences. Cette impression 3D stéréolithographique (SLA) utilise un laser pour créer des pièces isotropes solides à partir d'une résine photopolymère liquide.

Selon nos prévisions, 1heure 39 minutes seraient nécessaires à l'impression de deux guides, et le coût de revient d'un guide serait de 8,10 euros, bien loin des 2500 euros/patient nécessaires pour la conception d'un guide de coupe sur mesure.

Nous sommes prêts à déposer un dossier à l'Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé (ANSM) et inclure les premiers patients du projet FIBUMAND. Sous réserve de la validation du biomatériau par la pharmacie de l'hôpital, ces démarches réalisées dans l'objectif de concevoir un dispositif médical entièrement en interne, et notamment la résolution des difficultés réglementaires, faciliteront la réalisation de projets de recherche par d'autres équipes.

Au-delà de la réponse à l'objectif principal, la méthodologie de cette étude ainsi que ses débouchés témoignent de l'importance de la coopération permanente entre différents corps de métier (chirurgien, ingénieur, pharmacien, anthropologue...) afin de mener à bien un projet de recherche.

Signature du Président du jury



Signature du Doyen de la Faculté de Médecine

Toulouse-Rangueil

18/3/19

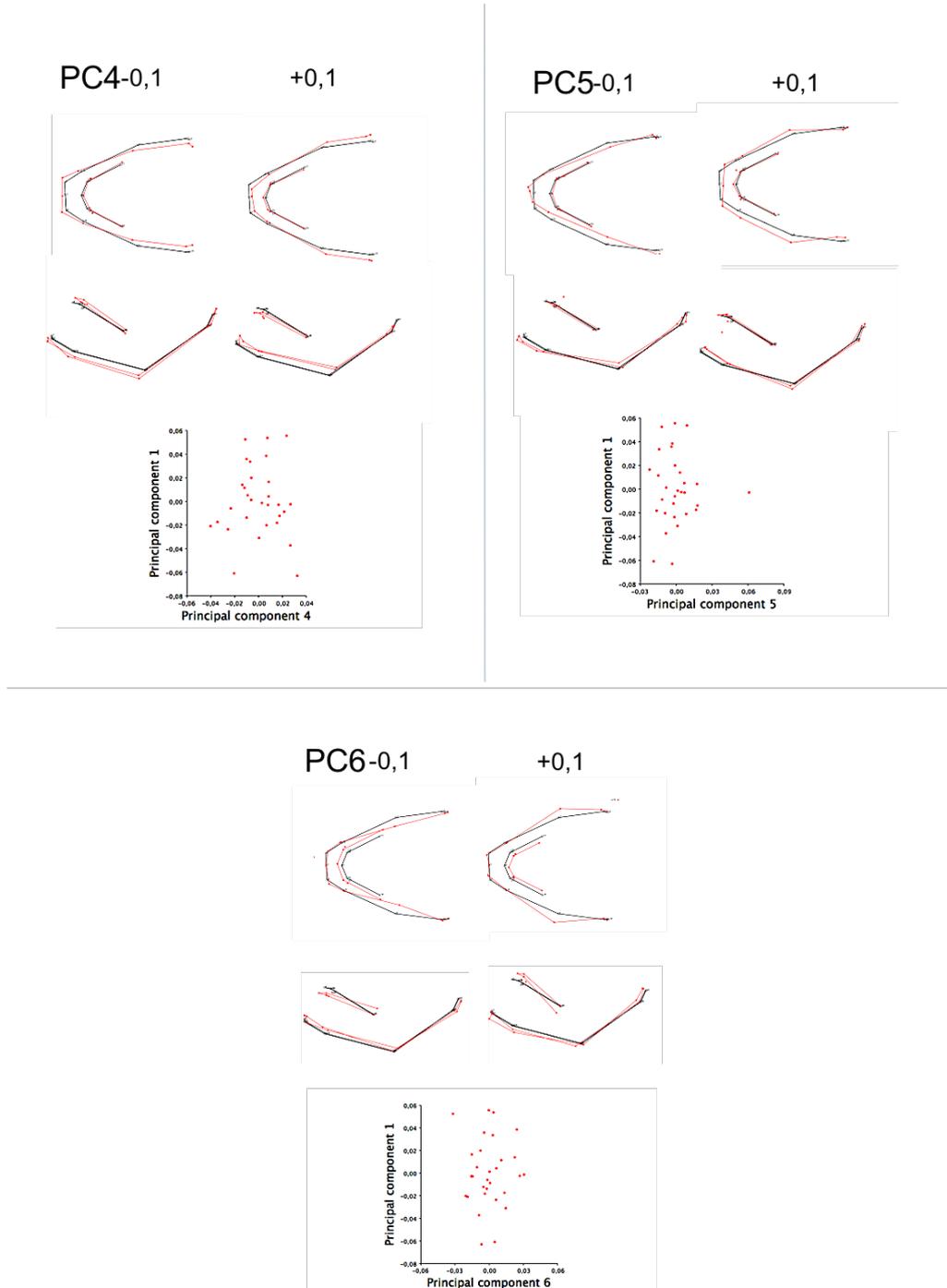
Vu permis d'imprimer
Le Doyen de la Faculté
De Médecine Rangueil



E. SERRANO

VII. ANNEXES

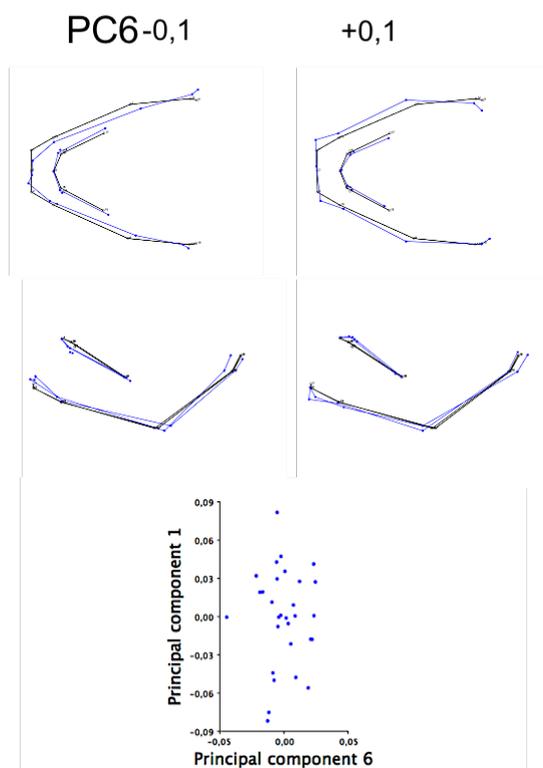
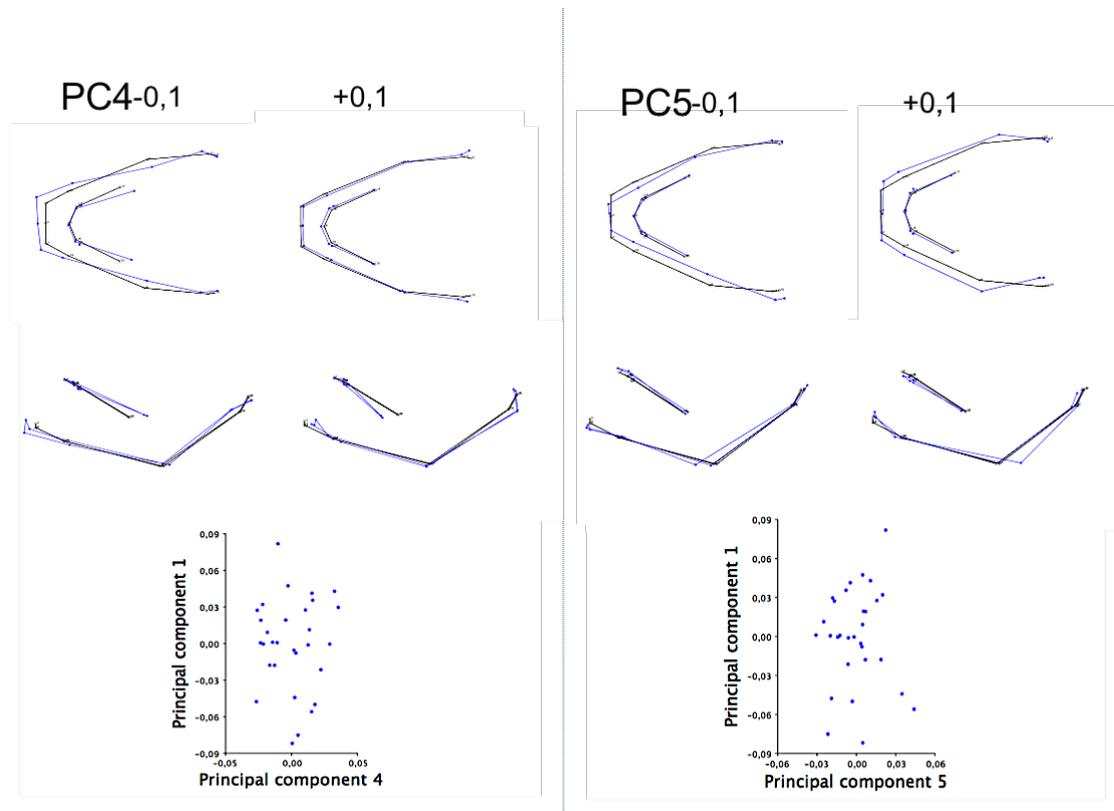
Annexe 1: Groupe Femme, représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC4-5-6 pour les valeurs -0,1 et +0,1



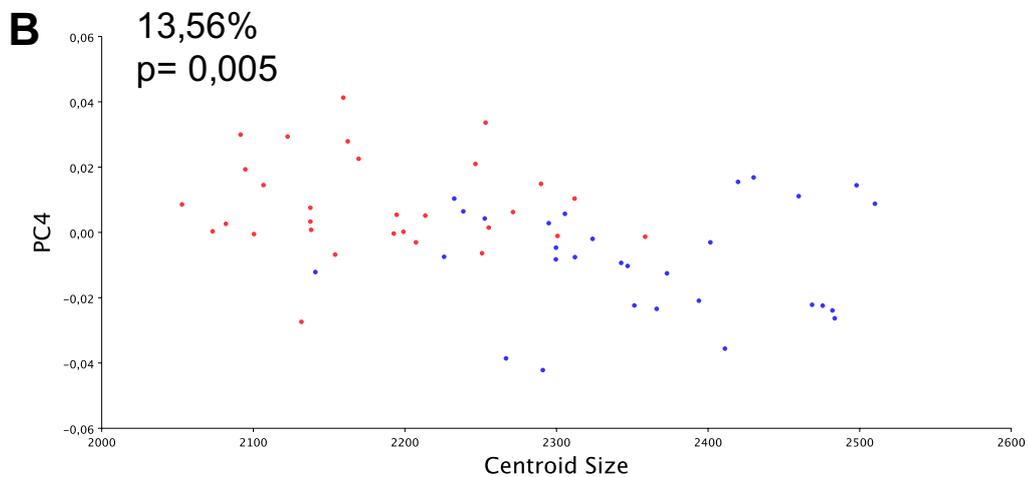
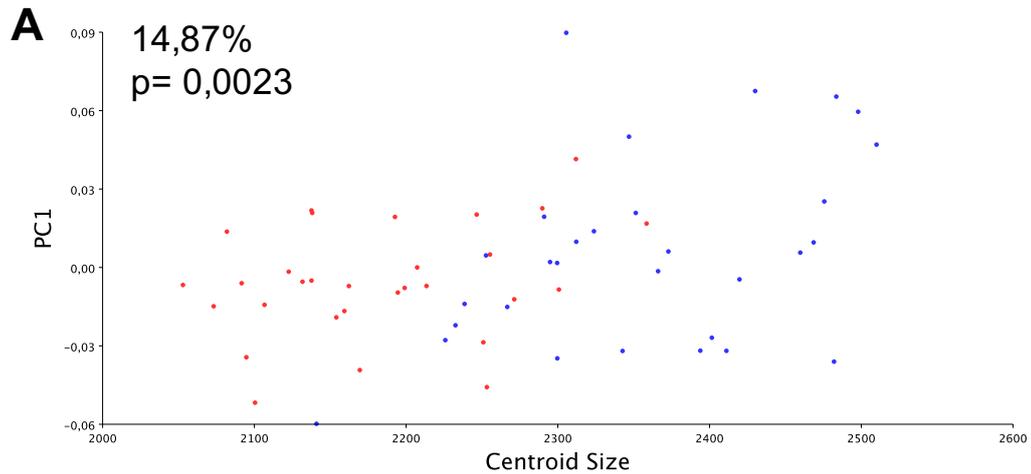
PC4 et PC5 représentent essentiellement la variation de la longueur de la symphyse basilaire

Les variations représentées par PC6 concernent essentiellement la portion alvéolaire.

Annexe 2: Groupe Homme, représentation "Wireframe" des variations extrêmes de PC4-5-6 pour les valeurs -0,1 et +0,1



Annexe 3: Analyse de régression de la taille en fonction du sexe sur les PC présentant un dimorphisme sexuel



Rouge : mandibules féminines

Bleu : mandibules masculines

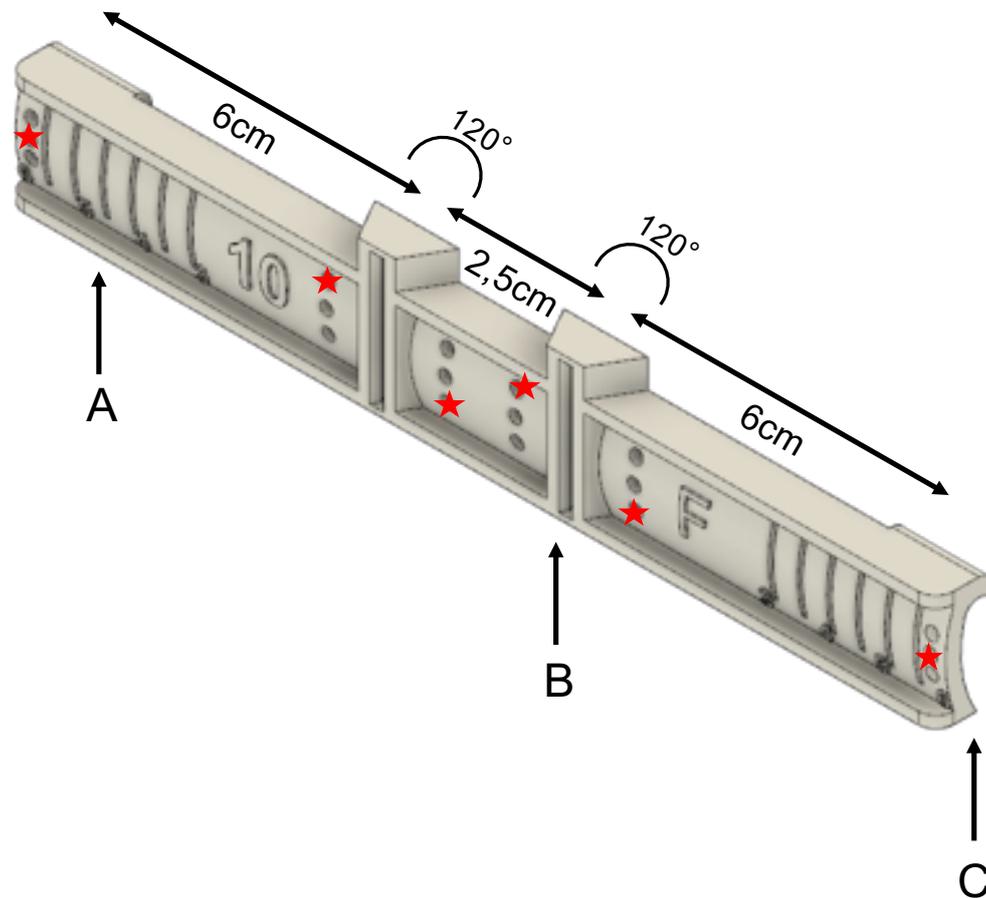
A : Analyse de régression de la taille sur PC1

B : Analyse de régression de la taille sur PC4

Il apparaît que 14,87% de la variabilité observée sur PC1 est liée à la taille. La différence de taille liée au sexe est significativement responsable d'une part du dimorphisme (p=0,023).

De même, 13,56% de la variabilité observée sur PC4 est liée à la taille. La différence de taille liée au sexe est significativement responsable d'une part du dimorphisme (p=0,005). La différence de taille liée au sexe a donc un impact significatif sur la forme mandibulaire. Plus la taille augmente, plus la forme est masculine.

Annexe 4: Fiche d'utilisation du prototype F version 10 fourni avec le manuscrit



Les puits de forage avec les éventuels emplacements des vis sont représentés par les étoiles rouges.

A : système de graduation permettant de mesurer la longueur d'os nécessaire

B : insertion de la lame à travers la fente qui permet de guider l'ostéotomie et d'obtenir un angle de 120°

C : courbure du guide avec rebord permettant de positionner le guide en prenant appuis sur le bord antérieur de la fibula.

Annexe 5: Article soumis au Plastic Reconstructive Surgery

Du fait d'une clause de confidentialité concernant la conception du guide, seule la partie morphométrie peut être sujette à publication.

Plastic and Reconstructive Surgery Surgical benefit of mandibular morphometric analysis --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Original Article
Full Title:	Surgical benefit of mandibular morphometric analysis
Corresponding Author:	Alice Prevost, MD Universite Toulouse III Paul Sabatier Faculte de Medecine Purpan Toulouse, Midi-Pyrénées FRANCE
Order of Authors:	Alice Prevost Franck Delanoe Zoé Cavallier Samuel Muller Raphael Lopez Frédéric Lauwers
Abstract:	<p>Background</p> <p>The fibula free flap approach still presents major morphological and functional challenges in mandibular reconstruction. We have developed a mandibular morphometric analysis to standardize fibular conformation.</p> <p>Methods</p> <p>We performed a "conventional " morphometric analysis consisting of three-dimensional mandibular reconstructions of 30 men and 30 women. Several reference points were set and defined to evaluate specific lengths and angles of interest. We conducted a descriptive analysis of measurements obtained for the group of men and women, as well as the inter-sexual variability of these parameters.</p> <p>Results</p> <p>We determined mean measurements in men and women. No major intra- or inter-sexual mandibular morphological differences were detected for any of the parameters examined.</p> <p>Conclusions</p> <p>Our results provide a novel tool for improving the morphological quality of mandibular reconstructions. Our results pertinently lead us to question, the real benefits of using "custom-made" cutting and positioning guides in the planning phase.</p>
Section/Category:	Reconstructive
Keywords:	Mandible; Sex Characteristics, Morphometric analysis; Mandibular Reconstruction; Computer-Aided Design; Fibular free flap
Manuscript Classifications:	Anatomy; Cosmetic; Maxillofacial surgery; Oral and craniofacial surgery; Pediatric/Craniofacial; Reconstructive; Reconstructive--Head and Neck
Additional Information:	
Question	Response
Do you feel the manuscript qualifies as an outcomes study?	No
What should be the general public's take	custom cutting guide may not be the best solution

VIII. BIBLIOGRAPHIE

1. Van Baar GJC, Liberton NPTJ, Forouzanfar T, Winters HAH, Leusink FKJ. Accuracy of computer-assisted surgery in mandibular reconstruction_ A postoperative evaluation guideline. *Oral Oncology*. Elsevier. 2018 Nov; 88:1–8.
2. Ghai S, Sharma Y, Jain N, Satpathy M, Pillai AK. Use of 3-D printing technologies in craniomaxillofacial surgery: a review. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2018 Sep;22(3):249–59.
3. Canzi P, Magnetto M, Marconi S, Morbini P, Mauramati S, Aprile F, et al. New frontiers and emerging applications of 3D printing in ENT surgery: a systematic review of the literature. *Acta Otorhinolaryngologica Italica*. 2018 Aug;38(4):286–303.
4. Hong CJ, Giannopoulos AA, Hong BY, Witterick IJ, Irish JC, Lee J, et al. Clinical applications of three-dimensional printing in otolaryngology-head and neck surgery: A systematic review. *The Laryngoscope*. 2019 Jan 30; 31:253–8.
5. Tallarico M, Kim Y-J, Cocchi F, Martinolli M, Meloni SM. Accuracy of newly developed sleeve-designed templates for insertion of dental implants: A prospective multicenters clinical trial. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2018 Dec 28;21(1):108–13.
6. Bover-Ramos F, Viña-Almunia J, Cervera-Ballester J, Peñarrocha-Diago M, García-Mira B. Accuracy of Implant Placement with Computer-Guided Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis Comparing Cadaver, Clinical, and In Vitro Studies. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2018 Jan;33(1):101–15.
7. Deng Y, Tang W, Li Z. Repairing a Facial Cleft by Polyether–Ether–Ketone Implant Combined with Titanium Mesh. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2018 Sep;29(6):582–5.
8. Safran T, Viezel-Mathieu A, Beland B, Azzi AJ, Galli R, Gilardino M. The State of Technology in Craniosynostosis. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2018 Jun;29(4):904–7.
9. McAllister P, Watson M, Burke E. A Cost-Effective, In-House, Positioning and Cutting Guide System for Orthognathic Surgery. *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery*. 2018 Mar;17(1):112–4.
10. Bosc R, Hersant B, Carloni R, NIDDAM J, BOUHASSIRA J, De Kermadec H, et al. Mandibular reconstruction after cancer: an in-house approach to manufacturing cutting guides. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2017 Jan;46(1):24–31.

11. Han HH, Kim HY, Lee JY. The Pros and Cons of Computer-Aided Surgery for Segmental Mandibular Reconstruction after Oncological Surgery. *Archives of craniofacial Surgery*. 2017 Sep;18(3):149–54.
12. Foley B, Thayer W. Mandibular Reconstruction Using Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing: An Analysis of Surgical Results. *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery*. 2013 Feb 1;71(2):111–9.
13. Hidalgo. Fibula free flap: a new method of mandible reconstruction. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1989; 84:71–9.
14. Hidalgo DA, Pusic AL. Free-flap mandibular reconstruction: a 10-year follow-up study. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2002 Aug;110(2):438–49–discussion450–1.
15. Avraham T, Franco P, Brecht LE, Ceradini DJ, Saadeh PB, Hirsch DL, et al. Functional Outcomes of Virtually Planned Free Fibula Flap Reconstruction of the Mandible. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2014 Oct;134(4):628–634.
16. Chang EI, Jenkins MP, Patel SA, Topham NS. Long-Term Operative Outcomes of Preoperative Computed Tomography–Guided Virtual Surgical Planning for Osteocutaneous Free Flap Mandible Reconstruction. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2016 Feb;137(2):619–23.
17. Wang YY, Zhang HQ, Fan S, Zhang DM, Huang ZQ, Chen WL, et al. Mandibular reconstruction with the vascularized fibula flap: comparison of virtual planning surgery and conventional surgery. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2016 Nov 1;45(11):1400–5.
18. Orabona GD, Abbate V, Maglitto F, Bonavolontà P, Salzano G, Romano A, et al. Low-cost, self-made CAD/CAM-guiding system for mandibular reconstruction. *Surgical Oncology*. Elsevier Ltd; 2018 Mar 29;1–21.
19. LimSe-Ho, KimYeon-Ho, KimMoon-Key, NamWoong, KangSang-Hoon. Validation of a fibula graft cutting guide for mandibular reconstruction: experiment with rapid prototyping mandible model. *Computer Aided Surgery*. 2016 Apr 14;0(0):1–10.
20. Ganry L, Quilichini J, Bandini CM, Leyder P, Hersant B, Meningaud J-P. Three-dimensional surgical modelling with an open-source software protocol: study of precision and reproducibility in mandibular reconstruction with the fibula free flap. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2017 May 23;1–12.
21. Maesschalck T, Courvoisier DS, Scolozzi P. Computer-assisted versus traditional freehand technique in fibular free flap mandibular reconstruction: a morphological comparative study. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. Springer Berlin Heidelberg; 2016 Aug 8;1–10.

22. Thèse pour le diplôme d'état de Docteur en médecine du Docteur Marion Florczak, résultats non publiés.
23. Cavaignac E, Pailhé R, Laumond G, Murgier J, Reina N, Laffosse JM, et al. Evaluation of the accuracy of patient-specific cutting blocks for total knee arthroplasty: a meta-analysis. *International Orthopaedics*. 2015 Aug;39(8):1541–52.
24. Bjork A. Facial growth in man, studied with the aid of metallic implants. *Acta Odontologica Scandinavica*. 1955 Jun;13(1):9–34.
25. Bjork A. Prediction of mandibular growth rotation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1969 Jun ;55(6) :585–99.
26. Lefebvre J. Introduction aux analyses statistiques multidimensionnelles. Masson. Lefebvre J, editor. 1976.
27. Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the “revolution.” *Italian Journal of Zoology*. 2004 Jan;71(1):5–16.
28. Gunz P, Mitteroecker P. Semilandmarks: a method for quantifying curves and surfaces. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*. 2013.
29. Gooddall C. Procrustes methods in the statistical analysis of shape. *Journal Storage*. 1991.
30. Gower J. Generalized procrustes analysis. *Psychometrika*. 1975.
31. Klingenberg CP, Barluenga M, Meyer A. Shape analysis of symmetric structures: quantifying variation among individuals and asymmetry. *Evolution*. 2002 Oct;56(10):1909–20.
32. Klingenberg CP. Size, shape, and form: concepts of allometry in geometric morphometrics. *Development Genes and Evolution. Development Genes and Evolution*; 2016 Jun 1;1–25.
33. Mazzone S, Bianchi A, Schiariti G, Badiali G, Marchetti C. Computer-aided design and computer-aided manufacturing cutting guides and customized titanium plates are useful in upper maxilla waferless repositioning. *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery*. 2015 Apr;73(4):701–7.
34. Schouman T, Bertolus C, Chaine C, Ceccaldi J, Goudot P. Chirurgie assistée par dispositifs sur-mesure : reconstruction par lambeau libre de fibula. *Revue de Stomatologie, de Chirurgie Maxillo-faciale et de Chirurgie Orale*. 2014 Feb;115(1):28–36.
35. G V, Gowri S R M, J A. Sex determination of human mandible using metrical parameters. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2013 Dec;7(12):2671–3.

36. Rosas A, Bastir M. Thin-plate spline analysis of allometry and sexual dimorphism in the human craniofacial complex. *American Journal Of Physical Anthropology*. 2002 Feb 7;117(3):236–45.
37. Lopez TT, Michel-Crosato E, Benedicto E de N, Paiva LAS de, Silva DCB, Biazevic MGH. Accuracy of mandibular measurements of sexual dimorphism using stabilizer equipment. *Brazilian Oral Research*. 2017 Jan 5;31(0):1.
38. Lopez-Capp TT, Rynn C, Wilkinson C, de Paiva LAS, Michel-Crosato E, Biazevic MGH. Discriminant analysis of mandibular measurements for the estimation of sex in a modern Brazilian sample. *International Journal Of Legal Medicine*. 40 ed. 2018 May;132(3):843–51.
39. Morrison SD, Vyas KS, Motakef S, Gast KM, Chung MT, Rashidi V, et al. Facial Feminization. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2016 Jun;137(6):1759–70.
40. Kiliaridis S, Kälebo P. Masseter Muscle Thickness Measured by Ultrasonography and its Relation to Facial Morphology. *Journal of Dental Research*. 2016 Nov 8;70(9):1262–5.
41. Nedungadi T, Clegg DJ. Sexual dimorphism in body fat distribution and risk for cardiovascular diseases. *Journal of Cardiovascular Translational Research*. 2009 Sep;2(3):321–7.
42. Hirsch DL, Garfein ES, Christensen AM, Weimer KA, Saddeh PB, Levine JP. Use of computer-aided design and computer-aided manufacturing to produce orthognathically ideal surgical outcomes: a paradigm shift in head and neck reconstruction. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2009 Oct;67(10):2115–22.
43. Robey AB, Spann ML, McAuliff TM, Meza JL, Hollins RR, Johnson PJ. Comparison of Miniplates and Reconstruction Plates in Fibular Flap Reconstruction of the Mandible. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2008 Dec;122(6):1733–8.
44. Ponyi S, Szabo G. Statistical investigation of mandibular dimensions for the planning of a series of mandibular corpus replacements. *Journal of Craniofacial Surgery*. 1990 Apr;1(2):112–6.
45. Roh YW, Kim TW, Lee S, Seong SC, Lee MC. Is TKA using patient-specific instruments comparable to conventional TKA? A randomized controlled study of one system. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2013 Dec;471(12):3988–95.
46. Victor J, Dujardin J, Vandenuecker H, Arnout N, Bellemans J. Patient-specific guides do not improve accuracy in total knee arthroplasty: a prospective randomized controlled trial. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2014 Jan;472(1):263–71.

47. Weitz J, Wolff K-D, Kesting MR, Nobis C-P. Development of a novel resection and cutting guide for mandibular reconstruction using free fibula flap. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2018 Nov;46(11):1975–8.
48. Montmartin M, Meyer C, Euvrard E, Pazart L, Weber E, Benassarou M. L'impression 3D à l'hôpital : quelle réglementation en France ? *Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-faciale*. Elsevier Masson SAS ; 2015 Nov 1;116(5):302–7.

**MORPHOMÉTRIE MANDIBULAIRE :
DE LA MODÉLISATION À LA PRATIQUE CLINIQUE**

Introduction : L'utilisation de guides chirurgicaux "sur mesure" pour reconstruction mandibulaire par lambeau libre de fibula est de plus en plus commune. Notre expérience nous invite à reconsidérer la place du « sur-mesure » au profit d'une alternative plus « universelle ». L'objectif est de réaliser un guide de coupe standard à partir d'une moyenne anatomique mandibulaire.

Matériels et méthodes : Nous avons réalisé une analyse morphométrique (traditionnelle et géométrique) à partir de 60 reconstructions tridimensionnelles de mandibules saines afin de déterminer les caractéristiques anatomiques moyennes des mandibules féminine et masculine. Les variabilités intra et intersexuelles ont également été étudiées.

Résultats : Une collaboration permanente entre chirurgien et ingénieur a permis de concevoir différents prototypes à partir des résultats morphométriques. Un guide « Homme » et un guide « Femme » ont été conçus. Les prototypes ont été testés sur cadavre. L'utilisation de cet outil chirurgical n'a en rien modifié nos habitudes et techniques chirurgicales.

Discussion : Outre la conception des prototypes, les résultats anatomiques nous confortent dans l'idée que l'utilisation d'un guide standard Homme et d'un guide Femme reste cohérente puisque nous n'avons pas mis en évidence de différences intra sexuelles importantes. L'expression du dimorphisme sexuel pour les paramètres étudiés n'étant que faiblement prononcé, il est également pertinent de s'interroger sur la nécessité de différencier les reconstructions mandibulaires d'hommes et femmes, rendant encore plus caduque la conceptualisation du guide de coupe « sur mesure ».

TITRE EN ANGLAIS : Clinical interest of mandibular morphometric analysis

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Médecine spécialisée clinique

MOTS-CLÉS : mandibule, morphométrie, procruste, reconstruction mandibulaire, fibula, guide de coupe, chirurgie assistée par ordinateur

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 : Franck DELANOË