

UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTÉS DE MÉDECINE

ANNÉE 2022

2022 TOU3 1589

THÈSE

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

Présentée et soutenue publiquement

par

Noémie DOMONT

le 14 Septembre 2022

**CROISSANCE DU SINUS MAXILLAIRE : ETUDE DE LA
CORRELATION DU VOLUME A L'AGE DENTAIRE**

Directeur de thèse : Pr Frédéric SAVALL

JURY

Monsieur le Professeur Norbert TELMON	Président
Monsieur le Professeur Frédéric SAVALL	Assesseur
Madame la Professeure Marie FARUCH BILFELD	Assesseur
Docteur Delphine MARET COMTESSE	Assesseur
Monsieur le Professeur Guillaume DE BONNECAZE	Suppléant
Docteur Agathe BASCOU	Invité

FACULTE DE SANTE
Département Médecine Maïeutique et Paramédicaux
Tableau des personnels HU de médecine
Mars 2022

Professeurs Honoraires

Doyen Honoraire	M. CHAP Hugues	Professeur Honoraire	M. GHISOLFI Jacques
Doyen Honoraire	M. GUIRAUD-CHAUMEIL Bernard	Professeur Honoraire	M. GLOCK Yves
Doyen Honoraire	M. LAZORTHEs Yves	Professeur Honoraire	M. GOUZI Jean-Louis
Doyen Honoraire	M. PUEL Pierre	Professeur Honoraire	M. GRAND Alain
Doyen Honoraire	M. ROUGE Daniel	Professeur Honoraire	M. GUIRAUD CHAUMEIL Bernard
Doyen Honoraire	M. VINEL Jean-Pierre	Professeur Honoraire	M. HOFF Jean
Professeur Honoraire	M. ABBAL Michel	Professeur Honoraire	M. JOFFRE Francis
Professeur Honoraire	M. ADER Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. LAGARRIGUE Jacques
Professeur Honoraire	M. ADOUE Daniel	Professeur Honoraire	M. LANG Thierry
Professeur Honoraire	M. ARBUS Louis	Professeur Honoraire	Mme LARENG Marie-Blanche
Professeur Honoraire	M. ARLET Philippe	Professeur Honoraire	M. LAURENT Guy
Professeur Honoraire	M. ARLET-SUAU Elisabeth	Professeur Honoraire	M. LAZORTHEs Yves
Professeur Honoraire	M. ARNE Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. LEOPHONTE Paul
Professeur Honoraire	M. BARRET André	Professeur Honoraire	M. MAGNAVAL Jean-François
Professeur Honoraire	M. BARTHE Philippe	Professeur Honoraire	M. MALECAZE François
Professeur Honoraire	M. BAYARD Francis	Professeur Honoraire	M. MANELFE Claude
Professeur Honoraire	M. BLANCHER Antoine	Professeur Honoraire	M. MANSAT Michel
Professeur Honoraire	M. BOCCALON Henri	Professeur Honoraire	M. MARCHOU Bruno
Professeur Honoraire	M. BONAFÉ Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. MASSIP Patrice
Professeur Honoraire	M. BONEU Bernard	Professeur Honoraire	Mme MARTY Nicole
Professeur Honoraire	M. BONNEVILLE Paul	Professeur Honoraire	M. MAZIERES Bernard
Professeur Honoraire	M. BOUNHOURE Jean-Paul	Professeur Honoraire	M. MONROZIES Xavier
Professeur Honoraire	M. BOUTAULT Franck	Professeur Honoraire	M. MOSCOVICI Jacques
Professeur Honoraire Associé	M. BROS Bernard	Professeur Honoraire	M. MURAT
Professeur Honoraire	M. BUGAT Roland	Professeur Honoraire associé	M. NICODEME Robert
Professeur Honoraire	M. CAHUZAC Jean-Philippe	Professeur Honoraire	M. OLIVES Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. CARATERO Claude	Professeur Honoraire	M. PARINAUD Jean
Professeur Honoraire	M. CARLES Pierre	Professeur Honoraire	M. PASCAL Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. CARON Philippe	Professeur Honoraire	M. PERRET Bertrand
Professeur Honoraire	M. CARRIERE Jean-Paul	Professeur Honoraire	M. PESSEY Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. CARTON Michel	Professeur Honoraire	M. PLANTE Pierre
Professeur Honoraire	M. CATHALA Bernard	Professeur Honoraire	M. PONTONNIER Georges
Professeur Honoraire	M. CHABANON Gérard	Professeur Honoraire	M. POURRAT Jacques
Professeur Honoraire	M. CHAMONTIN Bernard	Professeur Honoraire	M. PRADERE Bernard
Professeur Honoraire	M. CHAP Hugues	Professeur Honoraire	M. PRIS Jacques
Professeur Honoraire	M. CHAVOIN Jean-Pierre	Professeur Honoraire	Mme PUEL Jacqueline
Professeur Honoraire	M. CLANET Michel	Professeur Honoraire	M. PUEL Pierre
Professeur Honoraire	M. CONTE Jean	Professeur Honoraire	M. PUJOL Michel
Professeur Honoraire	M. COSTAGLIOLA Michel	Professeur Honoraire	M. QUERLEU Denis
Professeur Honoraire	M. COTONAT Jean	Professeur Honoraire	M. RAILHAC Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. DABERNAT Henri	Professeur Honoraire	M. REGIS Henri
Professeur Honoraire	M. DAHAN Marcel	Professeur Honoraire	M. REGNIER Claude
Professeur Honoraire	M. DALOUS Antoine	Professeur Honoraire	M. REME Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. DALY-SCHVEITZER Nicolas	Professeur Honoraire	M. RISCHMANN Pascal
Professeur Honoraire	M. DAVID Jean-Frédéric	Professeur Honoraire	M. RIVIERE Daniel
Professeur Honoraire	M. DELSOL Georges	Professeur Honoraire	M. ROCHE Henri
Professeur Honoraire	Mme DELISLE Marie-Bernadette	Professeur Honoraire	M. ROCHICCIOLI Pierre
Professeur Honoraire	Mme DIDIER Jacqueline	Professeur Honoraire	M. ROLLAND Michel
Professeur Honoraire	M. DUCOS Jean	Professeur Honoraire	M. ROQUES-LATRILLE Christian
Professeur Honoraire	M. DUFFAUT Michel	Professeur Honoraire	M. RUMEAU Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. DUPRE M.	Professeur Honoraire	M. SALVADOR Michel
Professeur Honoraire	M. DURAND Dominique	Professeur Honoraire	M. SALVAYRE Robert
Professeur Honoraire associé	M. DUTAU Guy	Professeur Honoraire	M. SARRAMON Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. ESCHAPASSE Henri	Professeur Honoraire	M. SERRE Guy
Professeur Honoraire	M. ESCOURROU Jean	Professeur Honoraire	M. SIMON Jacques
Professeur Honoraire	M. ESQUERRE J.P.	Professeur Honoraire	M. SUC Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. FABIÉ Michel	Professeur Honoraire	M. THOUVENOT Jean-Paul
Professeur Honoraire	M. FABRE Jean	Professeur Honoraire	M. TREMOULET Michel
Professeur Honoraire	M. FOURNIAL Gérard	Professeur Honoraire	M. VALDIGUIE Pierre
Professeur Honoraire	M. FOURNIE Bernard	Professeur Honoraire	M. VAYSSE Philippe
Professeur Honoraire	M. FORTANIER Gilles	Professeur Honoraire	M. VINEL Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. FRAYSSÉ Bernard	Professeur Honoraire	M. VIRENQUE Christian
Professeur Honoraire	M. FREXINOS Jacques	Professeur Honoraire	M. VOIGT Jean-Jacques
Professeur Honoraire	Mme GENESTAL Michèle		
Professeur Honoraire	M. GERAUD Gilles		

Professeurs Émérites

Professeur ARLET Philippe
 Professeur BOUTAULT Franck Professeur CARON Philippe
 Professeur CHAMONTIN Bernard
 Professeur CHAP Hugues
 Professeur GRAND Alain
 Professeur LAGARRIGUE Jacques
 Professeur LAURENT Guy Professeur LAZORTHES Yves
 Professeur MAGNAVAL Jean-François
 Professeur MARCHOU Bruno
 Professeur PERRET Bertrand
 Professeur RISCHMANN Pascal
 Professeur RIVIERE Daniel Professeur ROUGE Daniel

FACULTE DE SANTE Département Médecine Maïeutique et Paramédicaux

P.U. - P.H Classe Exceptionnelle et 1ère classe

M. ACAR Philippe	Pédiatrie	Mme LAMANT Laurence (C.E)	Anatomie Pathologique
M. ACCADBLED Franck (C.E)	Chirurgie Infantile	M. LANGIN Dominique (C.E)	Nutrition
M. ALRIC Laurent (C.E)	Médecine Interne	Mme LAPRIE Anne	Radiothérapie
M. AMAR Jacques	Thérapeutique	M. LARRUE Vincent	Neurologie
Mme ANDRIEU Sandrine	Epidémiologie, Santé publique	M. LAUQUE Dominique (C.E)	Médecine d'Urgence
M. ARBUS Christophe	Psychiatrie	M. LAUWERS Frédéric	Chirurgie maxillo-faciale
M. ARNAL Jean-François (C.E)	Physiologie	M. LEOBON Bertrand	Chirurgie Thoracique et Cardio-vasculaire
M. ATTAL Michel (C.E)	Hématologie	M. LEVADE Thierry (C.E)	Biochimie
M. AVET-LOISEAU Hervé	Hématologie, transfusion	M. LIBLAU Roland (C.E)	Immunologie
M. BERRY Antoine	Parasitologie	M. MALAUAUD Bernard	Urologie
Mme BERRY Isabelle (C.E)	Biophysique	M. MANSAT Pierre	Chirurgie Orthopédique
M. BIRMES Philippe	Psychiatrie	M. MARQUE Philippe (C.E)	Médecine Physique et Réadaptation
M. BONNEVILLE Fabrice	Radiologie	M. MAS Emmanuel	Pédiatrie
M. BOSSAVY Jean-Pierre (C.E)	Chirurgie Vasculaire	M. MAURY Jean-Philippe (C.E)	Cardiologie
M. BRASSAT David	Neurologie	Mme MAZEREEUW Juliette	Dermatologie
M. BROUCHET Laurent	Chirurgie thoracique et cardio-vascul	M. MAZIERES Julien (C.E)	Pneumologie
M. BROUSSET Pierre (C.E)	Anatomie pathologique	M. MINVILLE Vincent	Anesthésiologie Réanimation
M. BUJAN Louis (C. E)	Urologie-Andrologie	M. MOLINIER Laurent (C.E)	Epidémiologie, Santé Publique
Mme BURAS-RIVIERE Alessandra (C.E)	Médecine Vasculaire	M. MONTASTRUC Jean-Louis (C.E)	Pharmacologie
M. BUREAU Christophe	Hépto-Gastro-Entérologie	Mme MOYAL Elisabeth (C.E)	Cancérologie
M. BUSCAIL Louis (C.E)	Hépto-Gastro-Entérologie	M. MUSCARI Fabrice	Chirurgie Digestive
M. CALVAS Patrick (C.E)	Génétique	Mme NOURHASHEMI Fatemeh (C.E)	Gériatrie
M. CANTAGREL Alain (C.E)	Rhumatologie	M. OLIVOT Jean-Marc	Neurologie
M. CARRERE Nicolas	Chirurgie Générale	M. OSWALD Eric (C.E)	Bactériologie-Virologie
M. CARRIE Didier (C.E)	Cardiologie	M. PARIENTE Jérémie	Neurologie
M. CHAIX Yves	Pédiatrie	M. PAUL Carle (C.E)	Dermatologie
Mme CHARPENTIER Sandrine	Médecine d'urgence	M. PAYOUX Pierre (C.E)	Biophysique
M. CHAUFOUR Xavier	Chirurgie Vasculaire	M. PAYRASTRE Bernard (C.E)	Hématologie
M. CHAUVEAU Dominique	Néphrologie	M. PERON Jean-Marie (C.E)	Hépto-Gastro-Entérologie
M. CHAYNES Patrick	Anatomie	M. RASCOL Olivier (C.E)	Pharmacologie
M. CHIRON Philippe (C.E)	Chir. Orthopédique et Traumatologie	Mme RAUZY Odile	Médecine Interne
M. CHOLLET François (C.E)	Neurologie	M. RAYNAUD Jean-Philippe (C.E)	Psychiatrie Infantile
M. CONSTANTIN Arnaud	Rhumatologie	M. RECHER Christian (C.E)	Hématologie
M. COURBON Frédéric	Biophysique	M. RITZ Patrick (C.E)	Nutrition
Mme COURTADE SAIDI Monique (C.E)	Histologie Embryologie	M. ROLLAND Yves (C.E)	Gériatrie
M. DAMBRIN Camille	Chir. Thoracique et Cardiovasculaire	M. RONCALLI Jérôme	Cardiologie
M. DE BOISSEZON Xavier	Médecine Physique et Réadapt Fonct.	M. ROUGE Daniel (C.E)	Médecine Légale
M. DEGUINE Olivier (C.E)	Oto-rhino-laryngologie	M. ROUSSEAU Hervé (C.E)	Radiologie
M. DELABESSE Eric	Hématologie	M. ROUX Franck-Emmanuel	Neurochirurgie
M. DELOBEL Pierre	Maladies Infectieuses	M. SAILLER Laurent (C.E)	Médecine Interne
M. DELORD Jean-Pierre (C.E)	Cancérologie	M. SALES DE GAUZY Jérôme (C.E)	Chirurgie Infantile
M. DIDIER Alain (C.E)	Pneumologie	M. SALLES Jean-Pierre (C.E)	Pédiatrie
M. DUCOMMUN Bernard	Cancérologie	M. SANS Nicolas	Radiologie
Mme DULY-BOUHANICK Béatrice (C.E)	Thérapeutique	M. SCHMITT Laurent (C.E)	Psychiatrie
M. ELBAZ Meyer	Cardiologie	Mme SELVES Janick (C.E)	Anatomie et cytologie pathologiques
M. FERRIERES Jean (C.E)	Epidémiologie, Santé Publique	M. SENARD Jean-Michel (C.E)	Pharmacologie
M. FOURCADE Olivier	Anesthésiologie	M. SERRANO Elie (C.E)	Oto-rhino-laryngologie
M. FOURNIÉ Pierre	Ophthalmologie	M. SIZUN Jacques (C.E)	Pédiatrie
M. GALINIER Michel (C.E)	Cardiologie	M. SOL Jean-Christophe	Neurochirurgie
M. GAME Xavier	Urologie	Mme SOTO-MARTIN Maria-Eugénia	Gériatrie et biologie du vieillissement
Mme GARDETTE Virginie	Epidémiologie, Santé publique	M. SOULAT Jean-Marc	Médecine du Travail
M. GEERAERTS Thomas	Anesthésiologie et réanimation	M. SOULIE Michel (C.E)	Urologie
Mme GOMEZ-BROUCHET Anne-Muriel	Anatomie Pathologique	M. SUC Bertrand	Chirurgie Digestive
M. GOURDY Pierre (C.E)	Endocrinologie	Mme TAUBER Marie-Thérèse (C.E)	Pédiatrie
M. GROLLEAU RAOUX Jean-Louis (C.E)	Chirurgie plastique	M. TELMON Norbert (C.E)	Médecine Légale
Mme GUIMBAUD Rosine	Cancérologie	Mme TREMOLLIÈRES Florence	Biologie du développement
Mme HANAIRE Héléne (C.E)	Endocrinologie	Mme URO-COSTE Emmanuelle (C.E)	Anatomie Pathologique
M. HUYGHE Eric	Urologie	M. VAYSSIERE Christophe (C.E)	Gynécologie Obstétrique
M. IZOPET Jacques (C.E)	Bactériologie-Virologie	M. VELLAS Bruno (C.E)	Gériatrie

FACULTE DE SANTE

Département Médecine Maïeutique et Paramédicaux

P.U. - P.H.	2ème classe	Professeurs Associés
M. ABBO Olivier	Chirurgie infantile	Professeur Associé de Médecine Générale
M. AUSSEIL Jérôme	Biochimie et biologie moléculaire	M. ABITTEBOUL Yves
Mme BONGARD Vanina	Epidémiologie, Santé publique	Mme BOURGEOIS Odile
M. BONNEVILLE Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique	M. BOYER Pierre
M. BOUNES Vincent	Médecine d'urgence	M. CHICOULAA Bruno
Mme BOURNET Barbara	Gastro-entérologie	Mme IRI-DELAHAYE Motoko
Mme CASPER Charlotte	Pédiatrie	M. PIPONNIER David
M. CAVAINAC Etienne	Chirurgie orthopédique et traumatologie	M. POUTRAIN Jean-Christophe
M. CHAPUT Benoit	Chirurgie plastique	M. STILLMUNKES André
M. COGNARD Christophe	Radiologie	
Mme CORRE Jill	Hématologie	
Mme DALENC Florence	Cancérologie	
M. DE BONNECAZE Guillaume	Anatomie	Professeur Associé de Bactériologie-Hygiène
M. DECRAMER Stéphane	Pédiatrie	Mme MALAVAUD Sandra
M. EDOUARD Thomas	Pédiatrie	
M. FAGUER Stanislas	Néphrologie	
Mme FARUCH BILFELD Marie	Radiologie et imagerie médicale	
M. FRANCHITTO Nicolas	Addictologie	
M. GARRIDO-STÓWHAS Ignacio	Chirurgie Plastique	
M. GUIBERT Nicolas	Pneumologie	
M. GUILLEMINAULT Laurent	Pneumologie	
M. HERIN Fabrice	Médecine et santé au travail	
M. LAIREZ Olivier	Biophysique et médecine nucléaire	
M. LAROCHE Michel	Rhumatologie	
Mme LAURENT Camille	Anatomie Pathologique	
M. LE CAIGNEC Cédric	Génétique	
M. LEANDRI Roger	Biologie du dével. et de la reproduction	
M. LOPEZ Raphael	Anatomie	
M. MARCHEIX Bertrand	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire	
M. MARTIN-BLONDEL Guillaume	Maladies infectieuses, maladies tropicales	
Mme MARTINEZ Alejandra	Gynécologie	
M. MARX Mathieu	Oto-rhino-laryngologie	
M. MEYER Nicolas	Dermatologie	
M. PAGES Jean-Christophe	Biologie cellulaire	
Mme PASQUET Marlène	Pédiatrie	
M. PORTIER Guillaume	Chirurgie Digestive	
M. PUGNET Grégory	Médecine interne	
M. REINA Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique	
M. RENAUDINEAU Yves	Immunologie	
Mme RUYSSSEN-WITRAND Adeline	Rhumatologie	
Mme SAVAGNER Frédérique	Biochimie et biologie moléculaire	
M. SAVALL Frédéric	Médecine légale	
M. SILVA SIFONTES Stein	Réanimation	
M. SOLER Vincent	Ophtalmologie	
Mme SOMMET Agnès	Pharmacologie	
M. TACK Ivan	Physiologie	
Mme VAYSSE Charlotte	Cancérologie	
Mme VEZZOSI Delphine	Endocrinologie	
M. YRONDI Antoine	Psychiatrie	
M. YSEBAERT Loic	Hématologie	
P.U. Médecine générale M. MESTHÉ Pierre Mme ROUGE-BUGAT Marie-Eve		

FACULTE DE SANTE
Département Médecine Maïeutique et Paramédicaux

MCU - PH

Mme ABRAVANEL Florence	Bactériologie Virologie Hygiène	Mme GENNERO Isabelle
M. APOIL Pol Andre	Immunologie	Mme GENOUX Annelise
Mme ARNAUD Catherine	Epidémiologie	Mme GRARE Marion
Mme AUSSEIL-TRUDEL Stéphanie	Biochimie	M. GUERBY Paul
Mme BASSET Céline	Cytologie et histologie	Mme GUILBEAU-FRUGIER Céline
Mme BELLIERES-FABRE Julie	Néphrologie	Mme GUYONNET Sophie
Mme BERTOLI Sarah	Hématologie, transfusion	M. HAMDJ Safouane
M. BIETH Eric	Génétique	Mme HITZEL Anne
Mme BREHIN Camille	Pneumologie	Mme INGUENEAU Cécile
M. BUSCAIL Etienne	Chirurgie viscérale et digestive	M. IRIART Xavier
Mme CAMARE Caroline	Biochimie et biologie moléculaire	Mme JONCA Nathalie
M. CMBUS Jean-Pierre	Hématologie	M. KIRZIN Sylvain
Mme CANTERO Anne-Valérie	Biochimie	Mme LAPEYRE-MESTRE Maryse
Mme CARFAGNA Luana	Pédiatrie	M. LEPAGE Benoit
Mme CASPAR BAUGUIL Sylvie	Nutrition	M. LHERMUSIER Thibault
Mme CASSAGNE Myriam	Ophthalmologie	M. LHOMME Sébastien
Mme CASSAING Sophie	Parasitologie	Mme MASSIP Clémence
Mme CASSOL Emmanuelle	Biophysique	Mme MAUPAS SCHWALM Françoise
Mme CHANTALAT Elodie	Anatomie	Mme MONTASTIER Emilie
M. CHASSAING Nicolas	Génétique	M. MONTASTRUC François
M. CLAVEL Cyril	Biologie Cellulaire	Mme MOREAU Jessika
Mme COLOMBAT Magali	Anatomie et cytologie pathologiques	Mme MOREAU Marion
M. CONGY Nicolas	Immunologie	M. MOULIS Guillaume
Mme COURBON Christine	Pharmacologie	Mme NASR Nathalie
M. CUROT Jonathan	Neurologie	Mme NOGUEIRA M.L.
Mme DAMASE Christine	Pharmacologie	Mme PERROT Aurore
Mme DE GLISEZENSKY Isabelle	Physiologie	M. PILLARD Fabien
M. DEDOUIT Fabrice	Médecine Légale	Mme PLAISANCIE Julie
M. DEGBOE Yannick	Rhumatologie	Mme PUISSANT Bénédicte
M. DELMAS Clément	Cardiologie	Mme QUELVEN Isabelle
M. DELPLA Pierre-André	Médecine Légale	Mme RAYMOND Stéphanie
M. DESPAS Fabien	Pharmacologie	M. REVET Alexis
M. DUBOIS Damien	Bactériologie Virologie Hygiène	M. RIMAILHO Jacques
Mme ESQUIROL Yolande	Médecine du travail	Mme SABOURDY Frédérique
Mme EVRARD Solène	Histologie, embryologie et cytologie	Mme SAUNE Karine
Mme FILLAUX Judith	Parasitologie	Mme SIEGFRIED Aurore
Mme FLOCH Pauline	Bactériologie-Virologie	M. TAFANI Jean-André
Mme GALINIER Anne	Nutrition	M. TREINER Emmanuel
Mme GALLINI Adeline	Epidémiologie	Mme VALLET Marion
M. GANTET Pierre	Biophysique	M. VERGEZ François
M. GASQ David	Physiologie	Mme VIJA Lavinia
M. GATIMEL Nicolas	Médecine de la reproduction	
M.C.U. Médecine générale		
M. BISMUTH Michel		
M. BRILLAC Thierry		
Mme DUPOUY Julie		
M. ESCOURROU Emile		

Maitres de Conférence Associés

M.C.A. Médecine Générale

M. BIREBENT Jordan
Mme BOUSSIER Nathalie
Mme FREYENS Anne
Mme LATROUS Leila
Mme PUECH Marielle`

REMERCIEMENTS

Table des matières

REMERCIEMENTS	6
INTRODUCTION	9
I. <i>Le sinus maxillaire</i>	9
1. Anatomie	9
2. Physiologie	10
3. Développement.....	10
II. <i>Le massif facial</i>	11
1. Anatomie.....	11
2. Développement.....	17
III. <i>Estimation de l'âge dentaire</i>	18
1. Nomenclature	18
2. Odontogenèse	18
3. Méthodes de référence.....	22
IV. <i>Intérêt de l'étude</i>	27
MATERIEL ET METHODES	29
I. <i>Matériel</i>	29
II. <i>Méthodes</i>	29
1. Imagerie	29
2. Mesures et segmentations.....	30
3. Formules dentaires.....	32
4. Analyses statistiques	32
RESULTATS	33
I. <i>Statistiques descriptives</i>	33
1. Échantillon.....	33
2. Ages dentaire et civil	36
3. Volume sinusal	39
II. <i>Statistiques analytiques</i>	40
1. Age dentaire	40
2. Age civil	42
3. Dimensions.....	44
DISCUSSION	46
I. <i>Données de l'étude</i>	46
1. Échantillon.....	46
2. Méthode.....	46
3. Résultats.....	47
II. <i>Limites de l'étude</i>	51
III. <i>Perspectives</i>	52
CONCLUSION	53
BIBLIOGRAPHIE	54
TABLE DES ILLUSTRATIONS	63

TABLE DES TABLEAUX 65

INTRODUCTION

I. Le sinus maxillaire

Les sinus maxillaires, anciennement dénommés antres de Highmore, sont les plus volumineuses cavités aériennes de la face chez l'être humain. Ils font partie des sinus paranasaux et sont situés symétriquement de part et d'autre des fosses nasales.

1. Anatomie

On les décrit classiquement comme des pyramides renversées, à base médiale et sommet latéral s'étendant jusqu'au processus zgomatique. Plus précisément, ils sont constitués de cinq parois, cinq récessus et un ostium qui s'abouche en regard du méat moyen et permet la communication avec les fosses nasales^{1,2}.

Leur plancher, plus bas que celui des fosses nasales, peut être le siège de proéminences correspondant aux racines des dents. Ils peuvent également être cloisonnés de manière partielle ou complète par des travées osseuses appelés septas³.

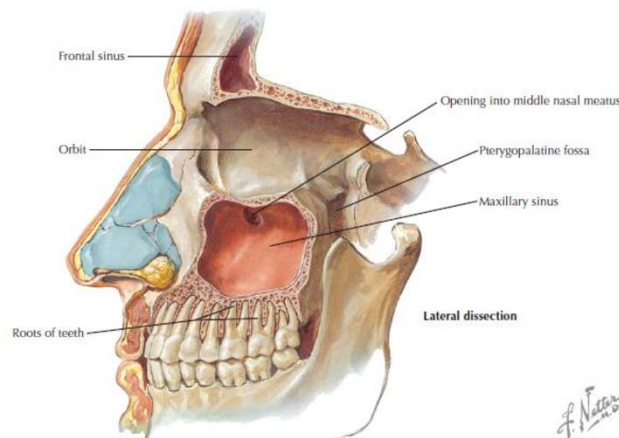


Figure 1 : schéma du sinus maxillaire en coupe sagittale (Netter⁴)

Ils sont tapissés d'une muqueuse (la membrane de Schneider) de type respiratoire qui s'apparente à la muqueuse nasale⁵.

La vascularisation est effectuée par des branches de l'artère maxillaire interne, dérivant de l'artère carotide externe, qui forment des anastomoses avec l'artère faciale. Le retour veineux est assuré par les veines faciale et maxillaire.

Le sinus maxillaire est innervé par le nerf maxillaire (V2) et le nerf mandibulaire (V3), deuxième et troisième branche du nerf trijumeaux, 5^{ème} nerf crânien^{3,6}.

Morphologiquement, il a été montré que des variations de la taille ne modifiaient pas la configuration pyramidale du sinus⁷. En revanche, certains processus pathologiques (syndromes héréditaires, irradiation hypophysaire, fractures faciales, tumeurs, drépanocytose, atteintes dentaires) pourraient entraîner une diminution de la taille finale des sinus en cas d'atteinte des centres de croissance⁷.

La forme et la taille des sinus maxillaires sont influencées par de multiples facteurs et des différences sont retrouvées selon la latéralisation⁸, le sexe⁹ ou les origines biogéographiques^{10,11}.

2. Physiologie

Les fonctions des sinus maxillaires sont multiples. Sur le plan mécanique, il permet l'allègement du massif facial, l'amplification de la résonance dans la phonation, le réchauffement et l'humidification de l'air ainsi qu'une meilleure répartition de la transmission des chocs en cas de traumatismes^{12,13}.

L'épithélium qui constitue sa muqueuse possède un rôle immunologique avec la sécrétion de mucus et l'excrétion de particule étrangère grâce à la clairance mucociliaire. Le sinus est également pourvu d'une fonction ventilatoire, il est un lieu d'échanges gazeux et participe à la régulation de la respiration¹⁴.

Il abrite enfin une composante sensorielle et olfactive avec l'odorat¹⁵.

3. Développement

Le développement des différents sinus paranasaux est asynchrone et les sinus maxillaires sont ceux qui commencent à se développer en premier^{16,17}.

Ces derniers apparaissent au cours du 3^{ème} mois de vie in utero (autour de la 10^{ème} semaine de grossesse) et correspondent à des évaginations des cavités nasales à ce stade¹⁷. Embryologiquement, ils dérivent des cavités ethmoïdales et se développent à partir de l'infundibulum du méat moyen^{2,18}. Initialement, le sinus maxillaire se trouve au-dessus du plancher des fosses nasales et supéro-médial par rapport au foramen infra-orbitaire.

A la naissance, le corps de l'os maxillaire est étroit et les germes dentaires sont proches du plancher de l'orbite. Le sinus est immature et correspond à une anfractuosité rudimentaire dans la paroi latérale du nez à côté du cornet inférieur, orientée selon un axe antéro-postérieur et mesurant environ 10mm de long, 3mm de large et 4mm de hauteur^{19,20}, avec un volume compris entre 60 et 80 mm^{3,17}.

Son volume augmente ensuite grâce à la pneumatisation de l'os maxillaire, phénomène d'aériorification qui permet un allègement du massif facial au fur et à mesure de son développement. Histologiquement, la pneumatisation correspond à une résorption ostéoclastique de l'os cortical.

Il commence par s'expandre jusqu'au canal infra-orbitaire latéralement et rejoint le cornet inférieur vers l'âge de 4 ans, puis il dépasse le foramen infra-orbitaire vers 8 ans. A 11 ans, sa croissance dans les plans antéro-postérieur et transversal est terminée²¹ et vers 12 ans il atteint le plan du palais dur suite à une croissance verticale^{17,22} qui cesse à environ 13 ans²¹. Les sinus croissent jusqu'à une phase de plateau entre 12 et 15 ans où ils atteignent leurs dimensions adultes avec un volume moyen compris entre 14 et 20 cm³ selon les études^{23,24,25}. Ces valeurs sont maintenues jusqu'à l'âge de 20 ans avant de commencer à involuer avec l'âge^{26,27,28}.

Le développement du sinus maxillaire est étroitement lié à la croissance de l'os maxillaire et sa pneumatisation ainsi qu'à la maturation des dents. Il fait partie intégrante du squelette facial et participe à la morphologie du visage. Il a été montré que la pneumatisation des sinus maxillaires est fortement liée au développement cranio facial même en cas de pathologie^{29,30}.

II. Le massif facial

1. Anatomie

Le massif facial est constitué de 6 os pairs, les os maxillaires, palatins, lacrymaux, nasaux, les cornets inférieurs et les zygomatiques et 2 os impairs, le vomer et la mandibule. Il est classiquement divisé en tiers supérieur qui comprend les orbites, tiers moyen qui s'agence autour des fosses nasales et tiers inférieur centré sur la cavité buccale.

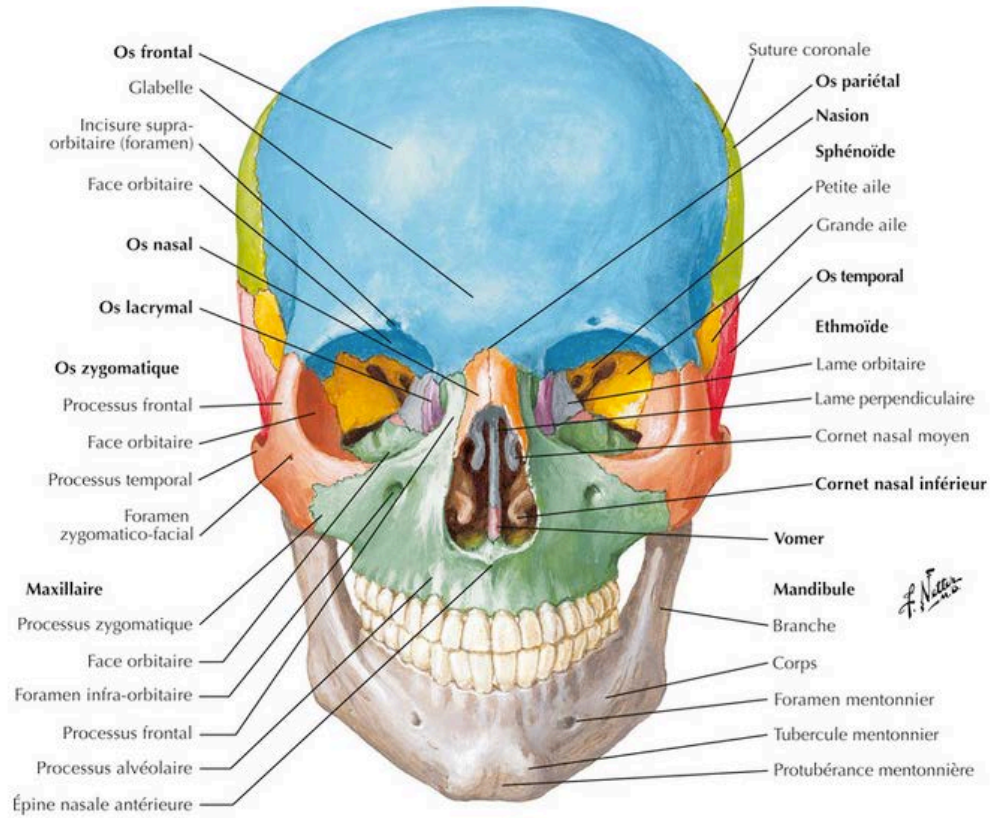


Figure 2 : vue antérieure des os de la face et du crâne (Netter⁴)

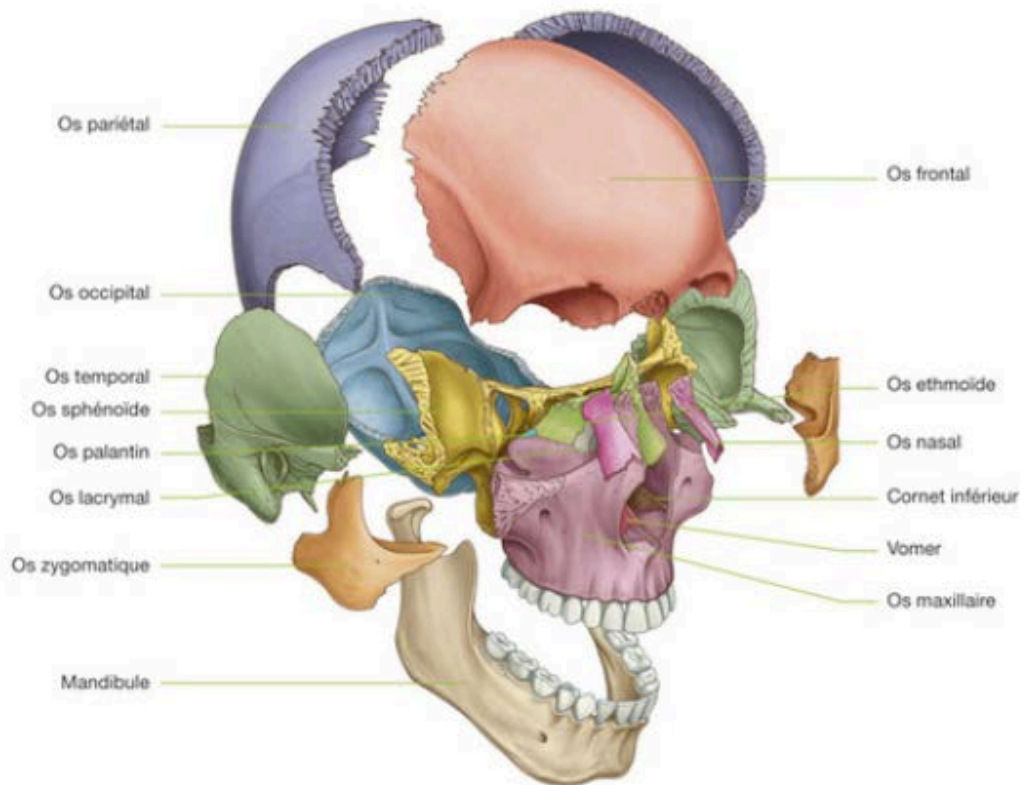


Figure 3 : vue antéro-latérale droite d'un crâne éclaté (Medicine Key³¹)

L'os maxillaire constitue l'essentiel du massif facial, c'est le plus volumineux mais également le plus léger de par la présence des sinus, cavités pneumatiques qui occupent une majeure partie de sa structure hormis l'os alvéolaire. Il est situé à l'étage facial moyen, il est constitué d'un corps et de quatre processus (zygomatique, frontal, alvéolaire et palatin) grâce auxquels il s'articule avec les autres pièces osseuses constituant la face ou les os du crâne.

Il concourt à l'édification de plusieurs cavités faciales, les cavités orbitaires avec l'os malaire, l'os lacrymal et le sphénoïde, les cavités nasales avec l'os nasal, l'ethmoïde et le vomer ainsi que la cavité buccale avec l'os palatin et la mandibule.

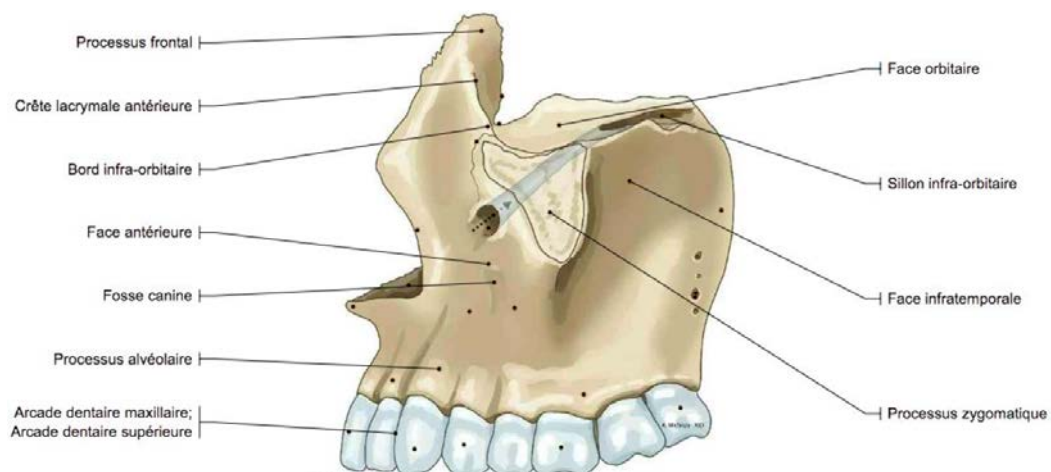


Figure 4 : vue latérale du maxillaire (Adnot³²)

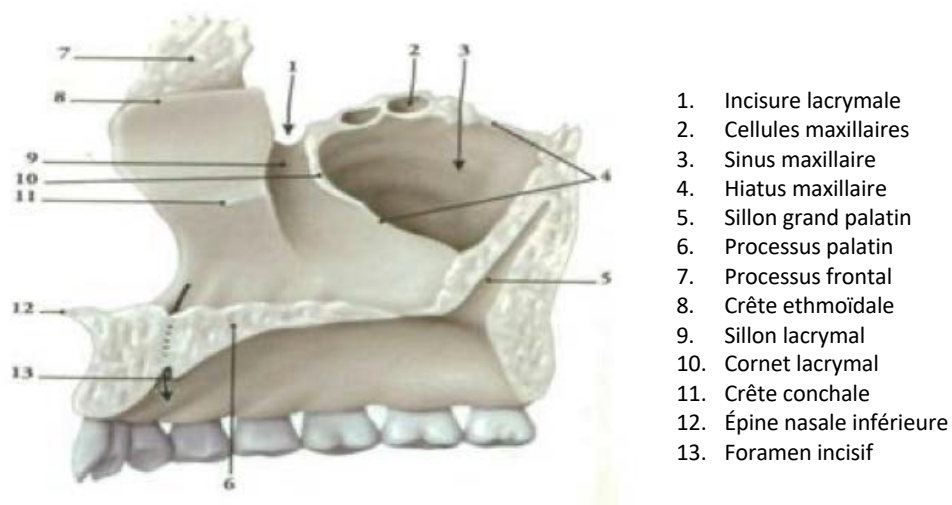


Figure 5 : face nasale du maxillaire droit (Kamina³³)

L'os malaire ou zygomatique est situé à la partie latérale de la face et fait le lien entre le maxillaire et les os du crâne. Il forme la pommette ainsi qu'une partie du plancher et la paroi latérale de l'orbite.

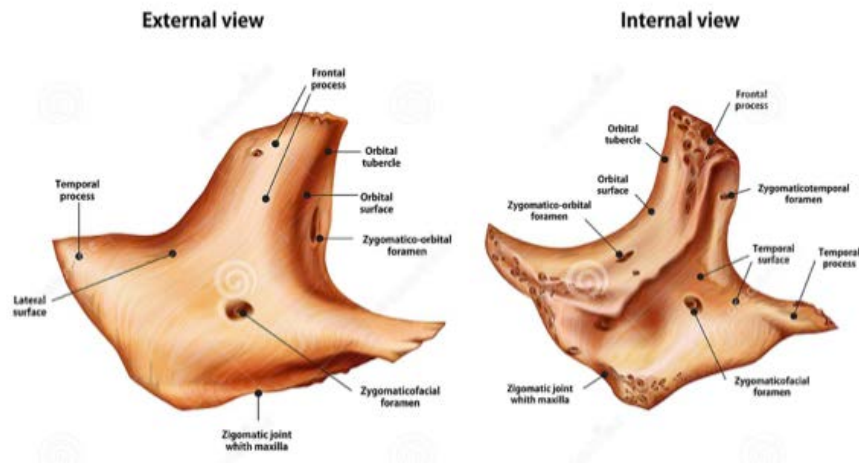


Figure 6 : os zygomatique en vue latérale et médiale³⁴

L'os palatin est en arrière de l'os maxillaire, il est composé de deux lames, une horizontale qui forme le palais dur avec l'apophyse palatine de l'os maxillaire, et une verticale qui participe à la formation de la paroi latérale des fosses nasales.

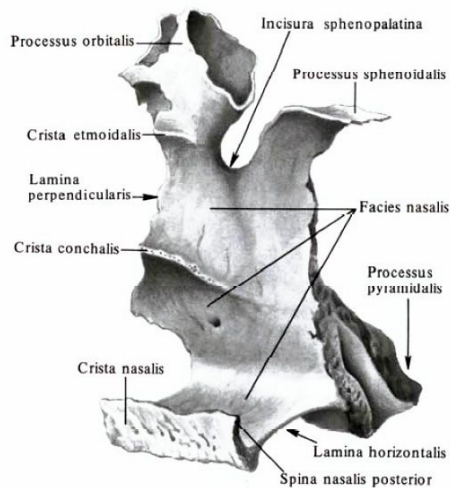


Figure 7 : vue postéro-médiale de l'os palatin³⁵

L'os lacrymal est un petit os de la paroi médiale de l'orbite, il contribue à l'élaboration du sillon lacrymal et du canal lacrymo-nasal.

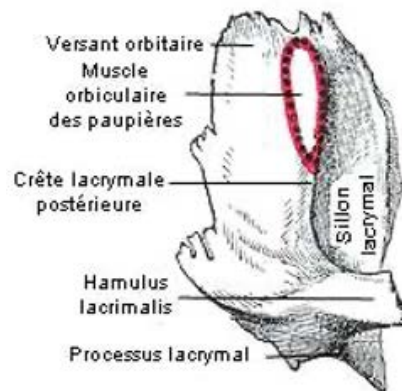


Figure 8 : vue latérale de l'os lacrymal droit (Berichard³⁶)

Les os nasaux se situent entre les processus frontaux des os maxillaires, ils composent la partie antérosupérieure des fosses nasales.

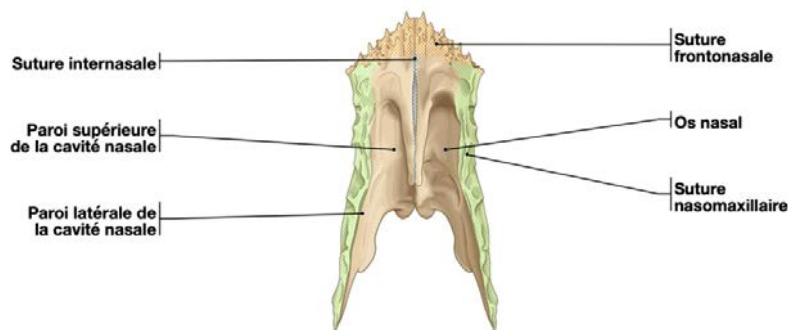


Figure 9 : vue dorsale des os nasaux (IMAIOS³⁷)

Le cornet inférieur est une lame osseuse positionnée à la partie inférieure de la paroi latérale des fosses nasales.

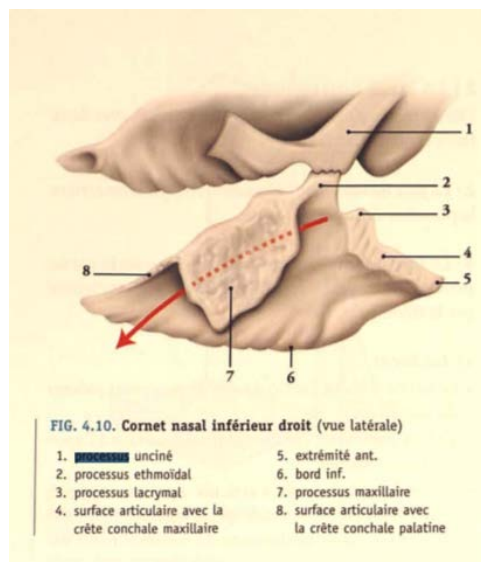


Figure 10 : vue latérale du cornet nasal inférieur droit³⁸

Le vomer est un os impair, lame osseuse verticale sagittale localisée à la partie inféro-postérieure du septum nasal, il participe à la formation des fosses nasales.

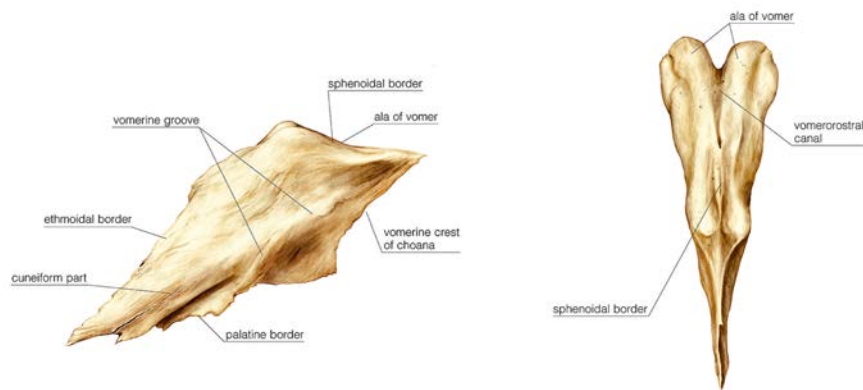


Figure 11 : vue latérale et dorsale du vomer (Asklepios Medical Atlas³⁹)

La mâchoire inférieure, seul élément mobile de la face, est constituée de la mandibule qui s'articule avec les os temporaux par l'intermédiaire des articulations temporo-mandibulaires. La mandibule est composée d'une branche horizontale sur laquelle s'établissent les dents et deux branches montantes qui permettent la jonction avec le reste du massif facial. L'articulation temporo-mandibulaire est une bicondylienne à ménisque interposé située en avant du conduit auditif externe.

Les maxillaires et la mandibule sont en contact à travers l'articulé dentaire.

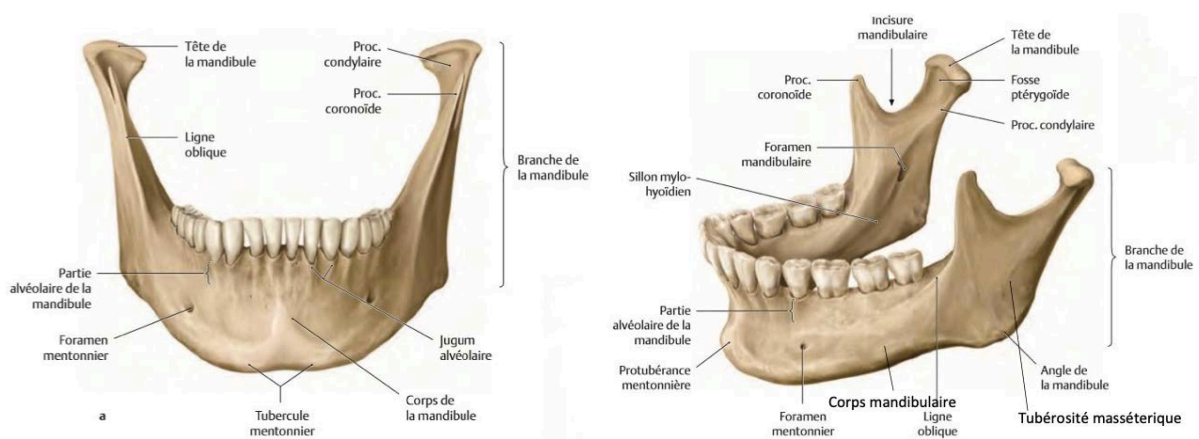


Figure 12 : vue antérieure et latérale de la mandibule (Dr Duprès⁴⁰)

2. Développement

La morphogenèse faciale se met en place précocement, dès les premières semaines de développement in utero⁴¹ et fait appel à de très nombreux processus morphogénétiques.

Cinq bourgeons se mettent en place à partir des trois feuilletts embryonnaires que sont l'ectoderme, le mésoderme et l'endoderme : le bourgeon fronto-nasal, les deux bourgeons maxillaires et les deux bourgeons mandibulaires. Ces bourgeons confluent pour générer les principaux reliefs de la face.

L'ossification primaire des os du massif facial est soit membraneuse soit enchondrale.

L'ossification membraneuse concerne les os maxillaire, nasal, lacrymal, palatin, zygomatique et le vomer, qui vont se développer directement dans le mésenchyme à partir de points d'ossification. Ces pièces osseuses sont limitées en périphérie par le périoste, structure primordiale pour leur croissance par ses phénomènes d'apposition et de résorption, et sont reliées entre elles par des sutures qui permettront également un accroissement de la face.

Les cornets inférieurs se développent à l'intérieur de la capsule nasale par un mécanisme d'ossification enchondrale, ils s'ossifient directement à partir d'une maquette cartilagineuse qui préfigure leur forme.

La mandibule présente une ossification mixte, à la fois membraneuse et enchondrale.

Le développement de la face est influencé par la croissance crânienne de par sa proximité, le toit de l'orbite répond à la partie antérieure de la base du crâne et les condyles mandibulaires répondent à la fosse crânienne moyenne. Cependant, elle possède une trajectoire de croissance intrinsèque se terminant vers 10 ans tandis que celle des os du crâne se finalise aux environs de 7 ans⁴².

Il est décrit que la face croît vers le bas et l'avant par dépôts osseux en arrière des maxillaires. Des phénomènes de résorption prémaxillaire compensent cette croissance vers l'avant et préviennent la formation d'un museau comme chez les primates⁴³. L'élargissement de la face peut être expliqué par les mouvements des sutures situées entre les os du massif facial, comme la suture médio-palatine ou les sutures péri-maxillaires, stimulées mécaniquement par la poussée linguale.

De multiples théories se complètent et apportent des éléments concernant la croissance du massif facial avec différentes approches globales : génétique (Brodie 1940⁴⁴, Weinmann et Sicher 1955⁴⁵, Tweed⁴⁶), fonctionnelle (Moss 1968⁴⁷, Scott 1953⁴⁸, Petrovic 1974⁴⁹, Couly 1980), synthétique (Van Limborgh⁵⁰) et descriptive (Bjork⁵¹, Enlow⁵²).

III. Estimation de l'âge dentaire

L'approche dentaire pour estimer l'âge des individus est une méthode pratique, reconnue et peu onéreuse^{53,54,55}.

1. Nomenclature

Peu après la naissance, une première dentition temporaire se profile, à partir de 6 mois et jusqu'à 30 mois. Ces dents déciduales sont au nombre de 20, réparties par 5 sur chaque demi arcade dentaire et sont numérotées de 51 à 85 de médial en latéral, du compartiment supérieur droit au compartiment inférieur droit.

Puis la denture permanente apparaît à partir de 6 ans et remplace progressivement les dents déciduales jusqu'à l'adolescence. Chaque adulte possède normalement 32 dents, 8 par demi arcade dentaire, classées de 11 à 48 de médial en latéral, du compartiment supérieur droit au compartiment inférieur droit.

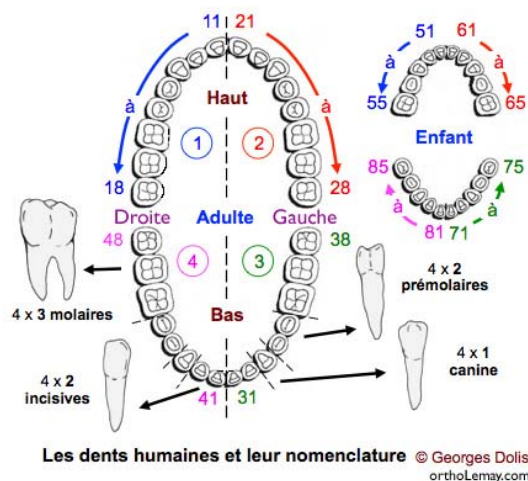


Figure 13 : nomenclature des dents⁵⁶

2. Odontogenèse

Le développement des germes dentaires comprend deux composantes étroitement intriquées, la formation des couronnes et des racines puis leur émergence sur les arcades dentaires.

a. Croissance des dents^{57,58,59}

Elle commence dès le premier mois in utero avec la formation de la lame dentaire, par prolifération de cellules ectodermiques qui dérivent de la crête neurale.

La phase de morphogenèse débute ensuite avec une invagination épithéliale qui assimile progressivement la morphologie caractéristique de chaque dent. Cette étape est classiquement divisée en trois stades, virtuellement individualisés car imbriqués dans un processus d'élaboration continu.

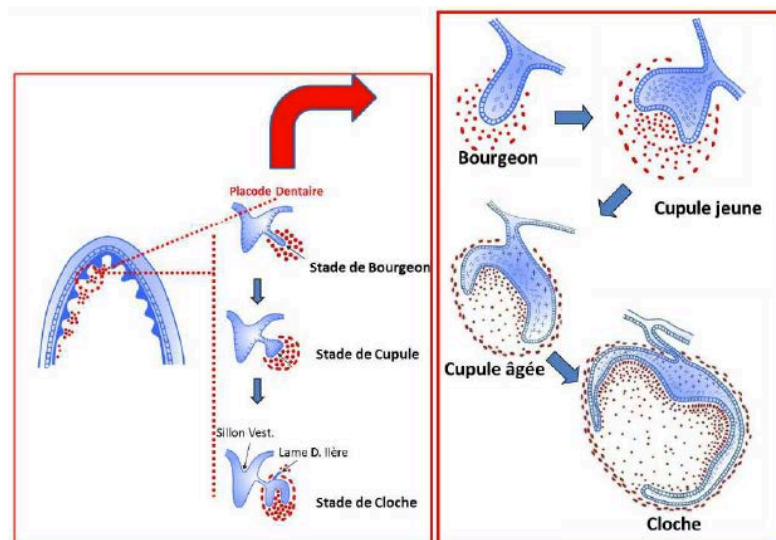


Figure 14 : stades de formation dentaire⁶⁰

Le premier est le stade du bourgeon, la lame dentaire produit des renflements, au nombre de dix par arcade, qui correspondent aux ébauches épithéliales des futures dents. Il y a une multiplication des cellules épithéliales qui s'enfoncent dans le mésenchyme sous-jacent.

Le stade de la cupule survient suite à une augmentation de la densité cellulaire dans le mésenchyme, appelée condensation ectomésenchymateuse. Le bourgeon épithélial initialement constitué s'invagine et ses bords se prolongent afin d'enrober graduellement cette condensation. L'invagination épithéliale ainsi formée est dénommée « organe de l'émail » et donnera l'émail. Les cellules au centre de la condensation ectomésenchymateuse correspondent à la « papille dentaire » qui sera à l'origine de la pulpe et la dentine tandis que l'ectomésenchyme qui enchâsse partiellement l'organe de l'émail est appelé « follicule dentaire » et établira les tissus parodontaux (cément, ligament parodontal, os alvéolaire).

Conjointement, des amas cellulaires denses se constituent au centre de la cupule, les nœuds de l'émail. Ces éléments transitoires sont à l'origine de la formation des cuspidés des couronnes des dents.














Le stade de la cloche est ensuite une étape de différenciation histologique et morphologique. Concernant l'organe de l'émail, les cellules se différencient en réticulum étoilé au centre et en épithélium dentaire externe en périphérie. Les cellules séparant l'organe de l'émail et la papille dentaire forment l'épithélium dentaire interne qui va se différencier en améloblastes par la suite.

La jonction des épithéliums dentaires interne et externe configure la gaine de Hertwig qui donnera la racine de la dent.

Au cours de ce stade de la cloche, il y a également l'élaboration d'une crypte osseuse autour de la cloche. Le développement dans une direction antéro-postérieure de la crypte et la formation des septas inter alvéolaires permettent une individualisation des germes dentaires. Ces derniers adoptent alors une configuration caractéristique et il est possible de distinguer la forme de la future couronne dentaire.

Ensuite la dent se minéralise, c'est le stade de la couronne, avec d'abord le développement de la dentine à partir des odontoblastes puis de l'émail à partir des améloblastes. Le début de la calcification des dents primaires a lieu in utero entre la 14^{ème} et la 16^{ème} semaine de grossesse tandis que la minéralisation des dents permanentes se déroule exclusivement en postnatal.

La formation de la racine dentaire ou radiculogénèse débute une fois l'amélogénèse de la couronne terminée.

	ci: initial cusp formation		Ri: initial root formation with diverge edges
	Cco: Coalescence of cusps		R 1/4: root length less than crown length
	Coc: Cusp outline complete		R 1/2: root length equals crown length
	Cr 1/2: crown half completed with dentine formation		R 3/4: three quarters of root length developed with diverge ends
	Cr 3/4: crown three quarters completed		Rc: root length completed with parallel ends
	Crc: crown completed with defined pulp roof		A 1/2: apex closed (root ends converge) with wide PDL
			Ac: apex closed with normal PDL width






















	Ci: initial cusp formation		
	Cco: Coalescence of cusps		R 1/4: root length less than crown length with visible bifurcated area
	Coc: Cusp outline complete		R 1/2: root length equals crown length
	Cr 1/2: crown half completed with dentine formation		R 3/4: three quarters of root length developed with diverge ends
	Cr 3/4: crown three quarters completed		Rc: root length completed with parallel ends
	Crc: crown completed with defined pulp roof		A 1/2: apex closed (root ends converge) with wide PDL
	Ri: initial root formation with diverge edges		Ac: apex closed with normal PDL width

Figure 15 : modified Moorrees' stages (Moorrees et al., 1963ab) used to identify tooth developmental stages of single rooted and multirooted teeth. PDL refers to "periodontal ligament space"⁵⁹

La couronne est ainsi la partie de la dent qui se forme en premier, puis vient la racine dont l'aboutissement participe au processus d'émergence dentaire.

b. Éruption dentaire

Elle correspond au franchissement de l'épithélium buccal par les couronnes dentaires. L'émergence des germes dépend de la migration de la dent depuis la crypte osseuse vers sa position fonctionnelle dans le plan occlusal, elle est progressive tout au long de l'enfance et s'effectue selon un ordre précis⁶¹.

	<p>position 1:</p> <p>when the occlusal or incisal surface is covered entirely by bone</p>	
	<p>position 2:</p> <p>when the occlusal or incisal surface breaks through the crest of the alveolar bone</p>	
	<p>position 3:</p> <p>when the occlusal or incisal surface is midway between the alveolar bone and the occlusal plane</p>	
	<p>position 4:</p> <p>occlusal or incisal surface is in the occlusal plane</p>	

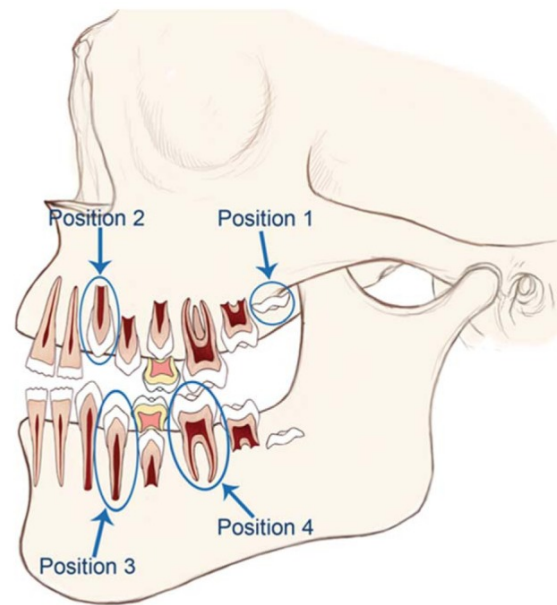


Figure 16 : Description and illustration reveal the eruption of permanent teeth by using Bengston's stages modified by AlQahtani et al.⁵⁸

3. Méthodes de référence

Il existe plusieurs types de méthodes reconnues d'estimation de l'âge dentaire, dont les plus utilisées se fondent sur l'émergence des germes dentaires et l'analyse radiologique de la maturation des dents.

a. Éruption dentaire

Les dents permanentes remplacent graduellement les dents déciduales, avec des âges d'apparition qui sont propres à chacune, par exemple la 1^{ère} molaire à 6 ans.

Type de dents	Mise en place du germe	Début de minéralisation	Achèvement de la couronne	Eruption	Edification complète
<i>Incive centrale</i>	5 ^{ème} mois in utero	3 mois	4 à 5 ans	6 à 7 ans	10 ans
<i>Incive latérale</i>	5 ^{ème} mois in utero	6 mois	5 ans	7 à 8 ans	10 ans
<i>Canine</i>	5 ^{ème} mois in utero	6 à 9 mois	6 ans	11 à 12 ans	13 à 15 ans
<i>1ère prémolaire</i>	naissance	2 ans	6 à 7 ans	10 à 12 ans	13 ans
<i>2ème prémolaire</i>	9 à 12 mois	3 ans	6 à 8 ans	11 à 12 ans	14 ans
<i>1ère molaire</i>	4 ^{ème} mois in utero	naissance	3 à 4 ans	6 ans	9 à 10 ans
<i>2ème molaire</i>	9 à 12 mois	30 mois	8 ans	12 à 13 ans	15 ans
<i>3ème molaire</i>	5 à 6 ans	7 à 10 ans	13 à 15 ans	17 ans à +	après 18 ans

Figure 17 : Détermination de l'âge à partir de méthodes dentaires. (D. Maret-Comtesse, 2010⁶²)

L'échelle de Schour et Massler⁶³ et l'Atlas of Human Tooth Development and Eruption⁵⁹ sont deux tables de références qui illustrent le caractère évolutif de l'émergence des dents.

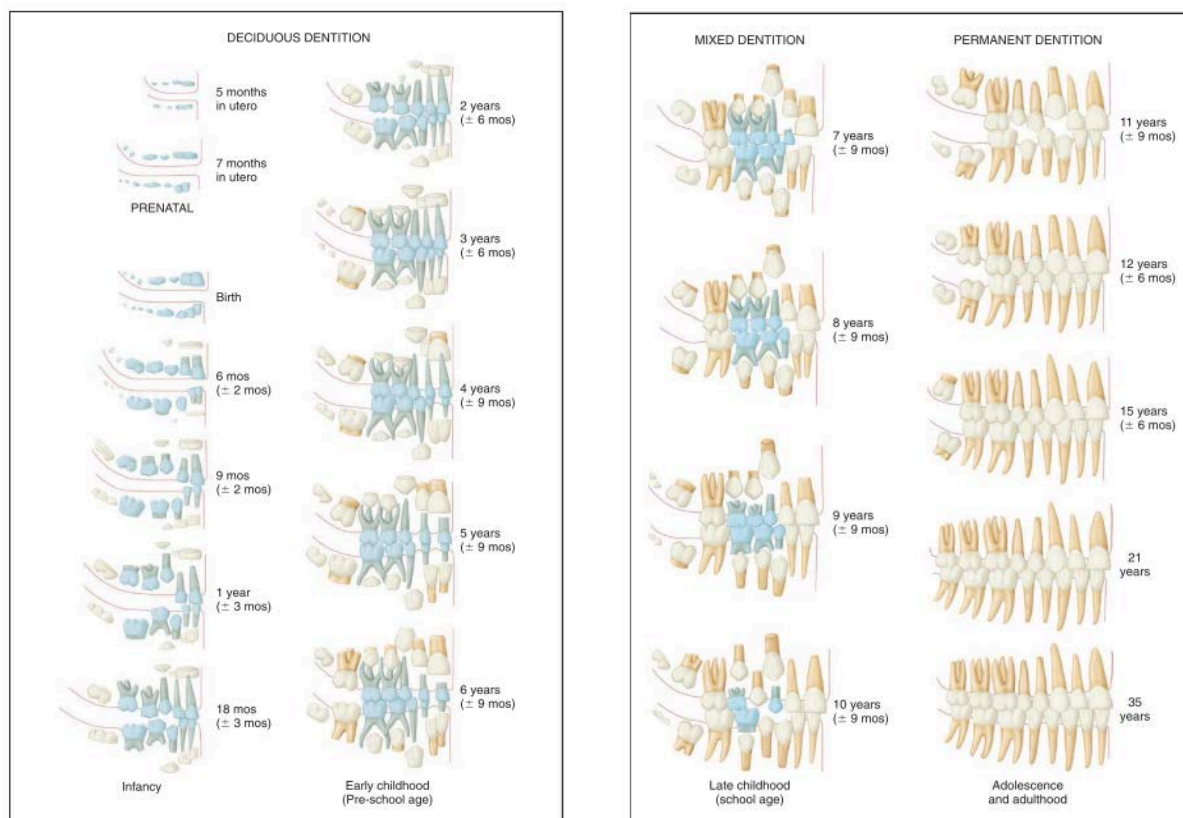


Figure 18 : Development of the human dentition (Schour L, Massler M, 1941)⁶³

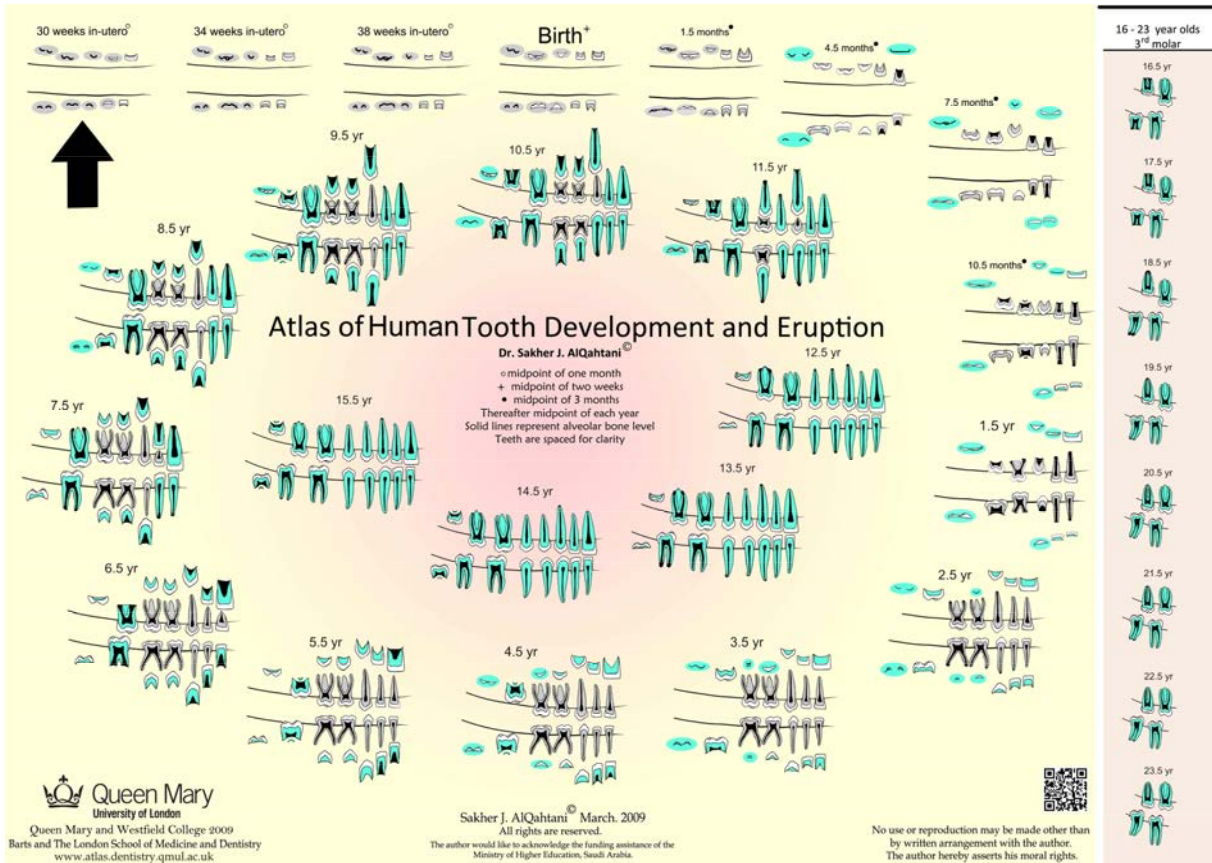


Figure 19 : Atlas of Human Tooth Development and Eruption (S. J. AlQahtani, 2010)⁵⁹

b. Maturation des dents

Méthode de Demirjian⁶⁴

Elle s'établit via l'analyse de l'édification dentaire sur des clichés radiologiques. En visualisant la structuration de tissus minéralisés, elle objective 8 stades de maturation, de l'apparition des premières traces visibles de calcification (stade A) à la fermeture complète de l'apex radiculaire (stade H), explicitement détaillés et illustrés.

Stade	Critère	Description
A		Début de calcification visible au niveau supérieur de la crypte, sous la forme d'un ou de plusieurs cône(s) retourné(s). Ces points calcifiés ne sont pas fusionnés.
B		Fusion des points de calcification formant une ou plusieurs cuspside. Surface occlusale aux contours réguliers.
C	a	Émail complètement formé au niveau de la surface occlusale. Il s'étend et converge vers la région cervicale.
	b	Début de dépôt dentinaire visible.
	c	Contour de la chambre pulpaire : forme incurvée au niveau du bord occlusal.
D	a	Couronne complètement formée jusqu'à la fonction amélo-cémentaire.
	b	Monoradiculées : bord supérieur de la chambre pulpaire nettement incurvé et concave en cervical. La projection des cornes pulpaires, si elle est présente, présente un contour semblable à un sommet de parapluie. Molaires : chambre pulpaire de forme trapézoïdale.
	c	Début de formation de la racine visible sous la forme d'un spicule.
E	a	Monoradiculées : les parois de la chambre pulpaire forment des lignes droites dont la continuité est interrompue par la corne pulpaire, qui est plus grande qu'au stade précédent. Molaires : début de formation de la bifurcation radiculaire visible sous la forme d'un point calcifié ou d'une forme semi-lunaire.
	b	Longueur radiculaire inférieure à la hauteur coronaire.
F	a	Monoradiculées : chambre pulpaire en forme de triangle plus ou moins isocèle. Molaires : la région calcifiée de la bifurcation s'est développée plus bas à partir de son stade semi-lunaire pour donner aux racines un contour plus net et plus distinct.
	b	Apex en forme d'entonnoir. Longueur radiculaire égale ou supérieure à la hauteur coronaire.
G	a	Parois des canaux radiculaires maintenant parallèles (racine distale pour les molaires).
	b	Canal radiculaire encore partiellement ouvert (racine distale pour les molaires).
H	a	Canal radiculaire complètement fermé (racine distale pour les molaires).
	b	Membrane périodontale uniformément large autour de la racine et de l'apex.

Figure 20 : stades de maturité dentaire selon le type de dents définitives, d'après Demirjian et al., traduit par Pelczar^{65,66}

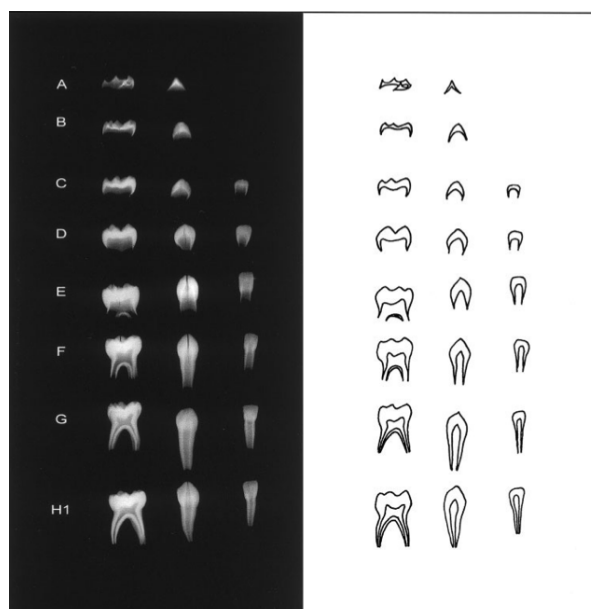


Figure 21 : Radiograph and line drawings of crown and root stages showing deciduous molar, canine, and incisor⁶⁶

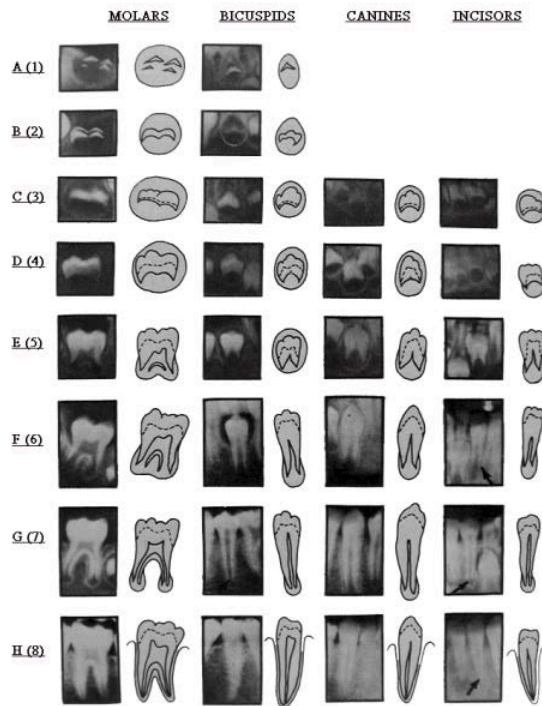


Figure 22 : photographies et schémas des différents stades radiographiques de maturité, par type de dents définitives⁶⁷

Cette méthode étudie les dents mandibulaires gauches, numérotées de 31 à 37, et détermine ainsi une séquence de sept lettres pour chaque individu.

Chaque stade de maturité attribué à une dent est converti en score numérique à partir de tableaux qui diffèrent en fonction du sexe. La somme de ces scores numériques permet ensuite d'établir un index de maturité, qui est converti en âge dentaire d'après des abaques.

Méthode de Willems⁶⁸

Elle correspond également à une technique d'analyse radiologique, adaptée de la méthode de Demirjian, avec pour finalité d'atténuer la surestimation de celle-ci⁶⁹.

Elle utilise une analyse de variance, le même système de codage pour les stades de maturité avec l'estimation de sept scores numériques et propose des tableaux à partir desquels l'âge dentaire est directement calculé en années.

IV. Intérêt de l'étude

L'amélioration des connaissances relatives au développement des sinus maxillaires est importante pour de nombreuses disciplines. L'étude des sinus a pour but une analyse de l'anatomie au cours de la croissance avec l'établissement d'une cartographie évolutive qui apporte des informations essentielles à de multiples professionnels.

En radiologie, la distinction entre structures physiologiques et pathologiques est fondamentale, de même qu'une interprétation optimale des examens afin de justifier la prise en charge thérapeutique la plus adaptée.

En cas de prise en charge chirurgicale ou endoscopique, la connaissance de l'anatomie des sinus et leur évolution est une nécessité notamment pour l'évaluation des possibilités thérapeutiques, la planification de l'intervention et la reconnaissance des repères anatomiques ou d'anomalies en cours d'intervention^{70,71,72,73}.

De même en orthodontie, ces renseignements sont utiles à l'appréciation du patient et l'élaboration d'un plan de soins^{74,75,76}.

Plusieurs études ont, par ailleurs, montré l'existence d'un retentissement de certaines prises en charge thérapeutique sur le développement des sinus. D'après Kosko et al.⁷⁷, la chirurgie endoscopique des sinus pourrait activer la formation osseuse en regard du maxillaire, par inflammation ou traumatisme direct, et entraîner un déplacement des centres de pneumatisation⁷⁷. La réalisation d'extractions dentaires favoriserait une expansion inférieure du sinus maxillaire avec un volume en fin de croissance plus important⁷⁸ tandis que la chirurgie des maxillaires serait à l'origine d'une diminution du volume du sinus⁷⁹.

En anthropologie, l'étude des sinus présente un intérêt quant au dimorphisme sexuel et notamment sa mise en place au cours de la croissance^{80,81,82} ainsi que lors des situations d'identification de restes humains en apportant des précisions concernant le sexe, l'âge ou l'origine bio-géographique^{83,84}.

D'autres disciplines non médicales sont également concernées par de telles notions. Pour les paléontologues, une connaissance aboutie de l'anatomie peut être utile à l'évaluation de l'affinité taxonomique de certains fossiles⁸⁵. En primatologie, des travaux sur les sinus sont réalisés et permettent des comparaisons avec l'être humain ou entre différentes espèces^{86,87}.

De nombreuses études ont déjà été menées afin d'analyser le développement, l'anatomie et les dimensions des sinus chez des individus en phase de croissance, notamment à des fins d'aide diagnostique et thérapeutique pour les cliniciens. Kuntzler et al.⁸⁸ ont émis l'hypothèse d'une cavité osseuse postnatale avec involution de la moelle osseuse et aérification centripète concernant la formation des sinus⁸⁸, une équipe a établi que la mucoviscidose pouvait modifier le processus de pneumatisation des sinus⁸⁹ et un cas de pneumatisation du cornet nasal inférieur a été rapporté⁹⁰.

Shah et al.⁹¹ ont montré un développement du sinus variable selon des cohortes d'âges et des valeurs précises des dimensions des sinus selon les âges ont été déterminées par les équipes de Lee, Park, Smith et Adibelli^{21,24,92,93}.

Intriqué à la maturation squelettique et odontologique, le sinus maxillaire apparaît comme une entité anatomique cruciale si l'on considère le développement de la face. Cette dernière est le siège d'une évolution constante de la naissance à l'âge adulte avec des modifications qu'il est possible d'observer, mesurer et classifier. Ainsi, on peut être amené à envisager que le volume des sinus maxillaires reflète des étapes particulières de la croissance.

Le développement des sinus maxillaires et le phénomène de pneumatisation ont été décrits chez des individus en phase de croissance en fonction de leur âge civil. Un lien entre la croissance des sinus et la maturation dentaire a été évoqué mais peu d'études corroborent cette hypothèse^{94,95,96}. Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est l'étude du développement du sinus maxillaire en fonction de l'âge dentaire.

MATERIEL ET METHODES

I. Matériel

Nous avons réalisé une étude rétrospective basée sur des sinus maxillaires d'individus masculins et féminins ayant effectué des scanners du massif facial ou des sinus au Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Toulouse entre le 1^{er} Janvier 2015 et le 31 Décembre 2021. Les scanners du massif facial ou des sinus étaient réalisés dans un contexte clinique de pathologies sinusiennes, traumatologie ou suspicion de malformation.

Les sujets qui présentaient des hémosinus suite à des fractures du massif facial, des pansinusites avec comblement muqueux ou des artefacts dus à du matériel dentaire n'ont pas été inclus.

123 sujets entre 0 et 13 ans ayant réalisé des scanners entre Janvier 2015 et Décembre 2021 ont été inclus.

II. Méthodes

1. Imagerie

Les images ont été obtenues grâce au PACS (Picture Archiving and Communication Service)⁹⁷ utilisé dans le service de radiologie du CHU de Toulouse. Les examens avaient été réalisés par un scanner Sensation 16 (Siemens, Erlangen, Allemagne) avec une collimation de 16 x 1,5. La matrice d'image était de 512*512 pixels. Les images ont été sélectionnées suite à l'application de filtres *SCAN MASSIF FACIAL* et *SCAN SINUS*, en fenêtre osseuse et après des reconstructions axiales des coupes tous les 0,5 à 2mm.

Les tomographies ont été enregistrées sous forme de fichiers DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) de manière anonyme. Les informations concernant les individus sélectionnés ont été répertoriées dans un tableau de correspondance (identité, âge, sexe, épaisseur de coupe, filtre).

Selon la loi française, les résultats des examens d'imagerie médicale peuvent être utilisés rétrospectivement sans le consentement du patient lorsque ces examens ont été réalisés à des fins cliniques et ont été enregistrés de manière anonyme (article 40-1, loi 94-548 du 1er juillet 1994).

2. Mesures et segmentations

La segmentation des sinus de chaque individu a été effectuée sur le logiciel 3D Slicer (version Mac OS X 4.11.20210226)⁹⁸ qui permettait une reconstruction des coupes dans les trois plans de l'espace à partir des images téléchargées.

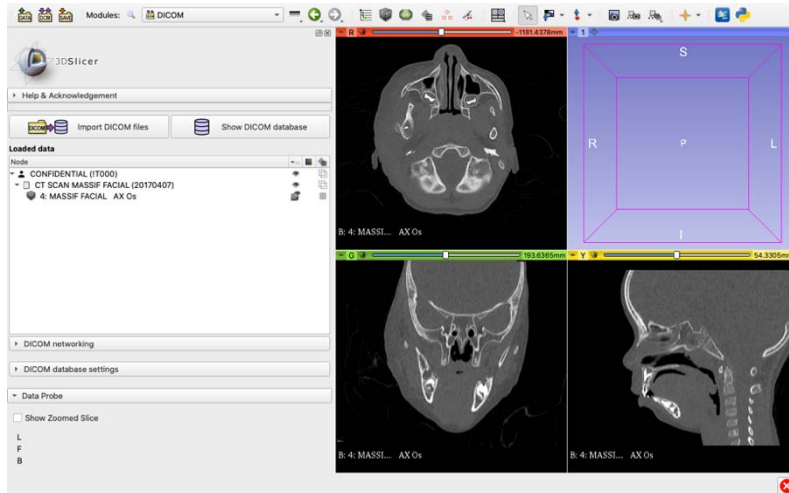


Figure 23 : reconstruction des coupes avec le logiciel 3D Slicer

L'outil « convertir : crop volume » a permis de mesurer les dimensions des sinus par côté selon trois axes : la largeur dans le plan frontal (ID ou IG), la longueur dans le plan transversal (LD ou LG) et la hauteur dans le plan sagittal (hD ou hG). Il a également été utilisé pour couper toute structure anatomique crânio-faciale superflue et zoomer sur les sinus maxillaires. La segmentation a ensuite été réalisée en exploitant l'outil « segment editor », qui permettait l'individualisation de structures anatomiques selon leur intensité puis leur modélisation tridimensionnelle.

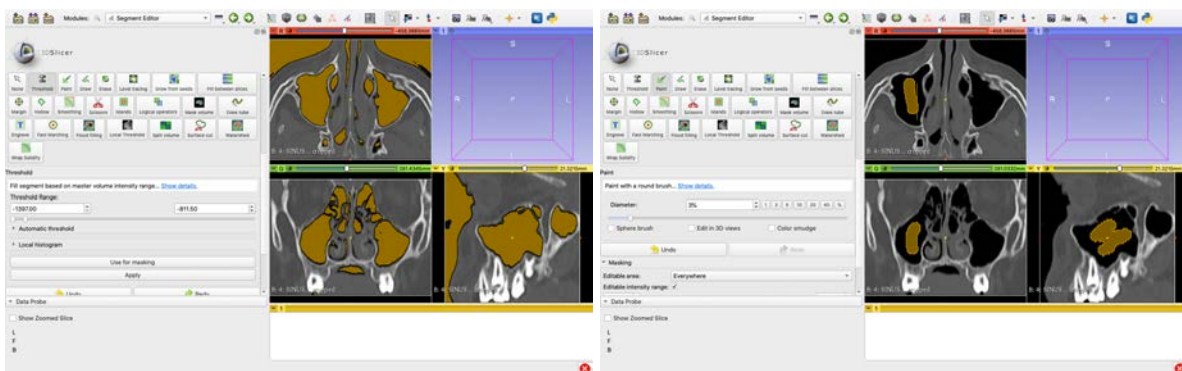


Figure 24 : sélection semi-automatique des sinus avec 3D Slicer

Cette segmentation était semi-automatique. Les régions anatomiques d'intensité identique étaient sélectionnées par le logiciel après planification des paramètres puis des retouches manuelles ont été nécessaires pour singulariser les sinus du fait de la proximité de structures anatomiques d'intensité équivalente (cellules ethmoïdales et fosses nasales).

L'algorithme « watershed » a été utilisé pour la modélisation tridimensionnelle avec une échelle à 0,2mm, cette échelle permettait de contrôler la taille des blocs à la frontière de l'objet à segmenter.

L'outil « quantification : segment statistics » a évalué les volumes de chaque sinus d'après leur modélisation 3D (notés VSD et VSG selon leur latéralisation).

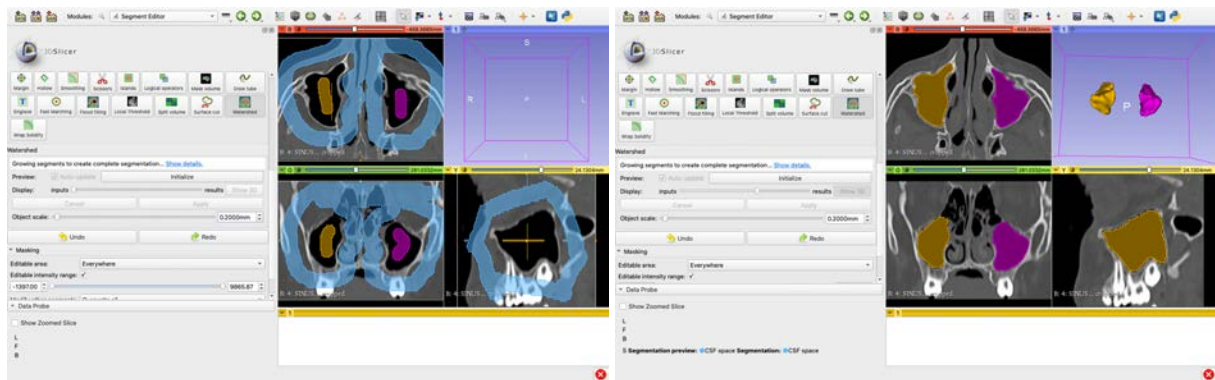


Figure 25 : segmentation semi-automatique des sinus avec 3D Slicer



Figure 26 : segmentation 3D des sinus (vue antérieure)

Figure 27 : segmentation 3D des sinus (vue latérale)

3. Formules dentaires

Après l'étape de segmentation des sinus, les coupes de scanner ont été réexaminées dans les trois plans de l'espace afin de visualiser la migration des germes dentaires et leur émission sur l'arcade. Nous avons listé pour chaque individu les dents présentes dans la cavité buccale et les germes contenus dans l'os maxillaire puis nous nous sommes reportés aux tables de Schour et Massler⁶³ et à l'Atlas of Human Tooth Development and Eruption⁵⁹ de manière à estimer l'âge dentaire de chaque individu.

4. Analyses statistiques

La distribution normale des variables a été vérifiée graphiquement. Les variables quantitatives sont présentées selon leur moyenne et leur écart-type et les variables qualitatives d'après leur nombre et pourcentage.

Les tests utilisés sont le t-test de Student et le test de Tukey pour les comparaisons de moyennes et le test de corrélation de Pearson et une ANOVA pour l'analyse des variables quantitatives. Une valeur de p inférieure à 0,05 était considérée comme statistiquement significative. La concordance des variables âge civil et âge dentaire a été évaluée par un coefficient kappa.

Plusieurs modèles de régression linéaire simple ont été utilisés, avec le volume moyen (VSm) à expliquer et l'âge en variable explicative, et avec les dimensions (largeur, longueur et hauteur) comme variables à expliquer et le volume moyen (VSm) en variable explicative. Les valeurs des coefficients de ces modèles sont présentées dans les résultats.

Une régression polynomiale locale non paramétrique (méthode LOESS) a été utilisée pour représenter le volume moyen (VSm) en fonction de l'âge et des boîtes à moustache ont été réalisés pour figurer ce volume selon trois tranches d'âge.

Toutes les analyses et les représentations graphiques ont été réalisées avec le logiciel R (version 4.0.3 MAC OS X)⁹⁹.

RESULTATS

I. Statistiques descriptives

1. Échantillon

Un total de 116 individus, 56 filles (48,3%) avec un âge civil moyen de 6,82 ans (min=1an, max=12ans, sd=3,32ans) et un âge dentaire moyen de 7,61 ans (min=2ans, max=13ans, sd=3,19ans) ainsi que 60 garçons (51,7%) avec un âge civil moyen de 6,03 ans (min=0,8an, max=13ans, sd=3,52ans) et un âge dentaire moyen de 6,78 ans (min=2ans, max=13ans, sd=3,16ans) ont été analysés.

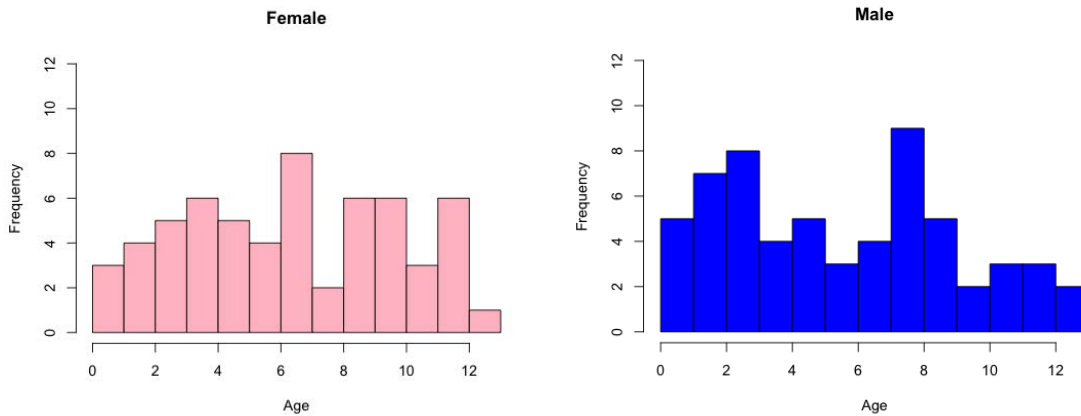


Figure 28 : distribution des âges civils de l'échantillon

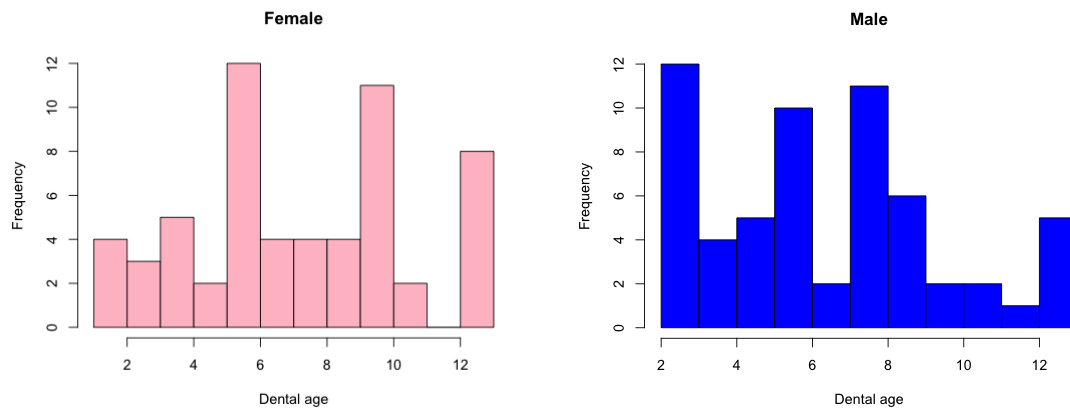


Figure 29 : distribution des âges dentaires de l'échantillon

Les volumes moyens des sinus ont été calculés à droite à $6,17\text{cm}^3$ ($6,55\text{cm}^3$ pour les filles et $5,81\text{cm}^3$ pour les garçons) et à gauche à $6,37\text{cm}^3$ ($6,51\text{cm}^3$ pour les filles et $6,24\text{cm}^3$ pour les garçons).

Les volumes moyens ont été calculés indépendamment de la latéralité à $6,27\text{cm}^3$ ($6,53\text{cm}^3$ pour les filles, $6,03\text{cm}^3$ pour les garçons).

Il n'y a pas de différence significative entre les deux sexes, quelle que soit la variable étudiée (*tableau 1*).

Les dimensions moyennes des sinus de chaque côté ont été calculées, la largeur du sinus droit (ID) moyenne était de $68,4\text{mm}$ ($69,1\text{mm}$ chez les filles et $67,8\text{mm}$ pour les garçons), la longueur droite (LD) moyenne était de 100mm (102mm pour les filles et $98,7\text{mm}$ pour les garçons) et la hauteur droite (hD) moyenne était de $25,6\text{mm}$ ($26,8\text{mm}$ pour les filles et $24,5\text{mm}$ pour les garçons) (*tableau 1*).

A gauche, la largeur moyenne du sinus (IG) était calculée à 70mm ($70,0\text{mm}$ chez les filles et $70,1\text{mm}$ pour les garçons), la longueur moyenne (LG) à 101mm (101mm pour les filles et 102mm pour les garçons) et la hauteur moyenne (hG) à 26mm ($27,1\text{mm}$ pour les filles et $24,9\text{mm}$ pour les garçons) (*tableau 1*).

Tableau 1 : données démographiques de l'échantillon

	F N=56 (48.3%)	M N=60 (51.7%)	Overall N=116	P-value
age				
<i>Mean (SD)</i>	6.82 (3.32)	6.03 (3.52)	6.41 (3.43)	0.216
<i>Median [Min, Max]</i>	7.00 [1.00, 12.0]	6.00 [0.800, 13.0]	6.50 [0.800, 13.0]	
ageD				
<i>Mean (SD)</i>	7.61 (3.19)	6.78 (3.16)	7.18 (3.19)	0.166
<i>Median [Min, Max]</i>	7.00 [2.00, 13.0]	6.00 [2.00, 13.0]	7.00 [2.00, 13.0]	
VSD				
<i>Mean (SD)</i>	6.55 (3.67)	5.81 (4.01)	6.17 (3.85)	0.308
<i>Median [Min, Max]</i>	6.08 [0.430, 15.3]	5.17 [0.200, 15.2]	5.71 [0.200, 15.3]	
VSG				
<i>Mean (SD)</i>	6.51 (3.38)	6.24 (3.98)	6.37 (3.69)	0.696
<i>Median [Min, Max]</i>	6.01 [0.930, 16.0]	5.74 [0.200, 15.3]	5.82 [0.200, 16.0]	
VSm				
<i>Mean (SD)</i>	6.53 (3.50)	6.03 (3.94)	6.27 (3.73)	0.473
<i>Median [Min, Max]</i>	5.84 [0.710, 15.6]	5.35 [0.200, 15.3]	5.77 [0.200, 15.6]	
ID				
<i>Mean (SD)</i>	69.1 (21.9)	67.8 (24.0)	68.4 (22.9)	0.761
<i>Median [Min, Max]</i>	70.0 [16.0, 125]	71.0 [15.0, 121]	71.0 [15.0, 125]	
LD				
<i>Mean (SD)</i>	102 (23.9)	98.7 (28.5)	100 [45.0, 148]	0.533
<i>Median [Min, Max]</i>	100 [45.0, 148]	106 [39.0, 158]	103 [39.0, 158]	
hD				
<i>Mean (SD)</i>	26.8 (7.56)	24.5 (8.52)	25.6 (8.12)	0.128
<i>Median [Min, Max]</i>	26.0 [11.0, 51.0]	23.5 [9.00, 56.0]	25.5 [9.00, 56.0]	
IG				
<i>Mean (SD)</i>	70.0 (20.2)	70.1 (21.7)	70.0 (20.9)	0.976
<i>Median [Min, Max]</i>	69.0 [21.0, 114]	71.5 [20.0, 116]	71.0 [20.0, 116]	
LG				
<i>Mean (SD)</i>	101 (22.6)	102 (25.7)	101 (24.4)	0.91
<i>Median [Min, Max]</i>	102 [47.0, 148]	107 [43.0, 160]	103 [43.0, 160]	
hG				
<i>Mean (SD)</i>	27.1 (7.15)	24.9 (8.15)	26.0 (7.73)	0.134
<i>Median [Min, Max]</i>	26.0 [12.0, 50.0]	24.0 [11.0, 58.0]	25.0 [11.0, 58.0]	

2. Ages dentaire et civil

Il n'est pas retrouvé de différence statistiquement significative entre l'âge civil et l'âge dentaire ($t = -1,7127$, $p=0,08$). Les moyennes d'âge ont été calculées avec un âge civil moyen à 6,41 ans et un âge dentaire moyen à 7,18 ans.

La corrélation entre l'âge civil et l'âge dentaire est illustrée par une droite de régression linéaire simple représentée par la formule : $y = 0,9x + 1,5$, avec un r^2 calculé à 0,9 (figure 30).

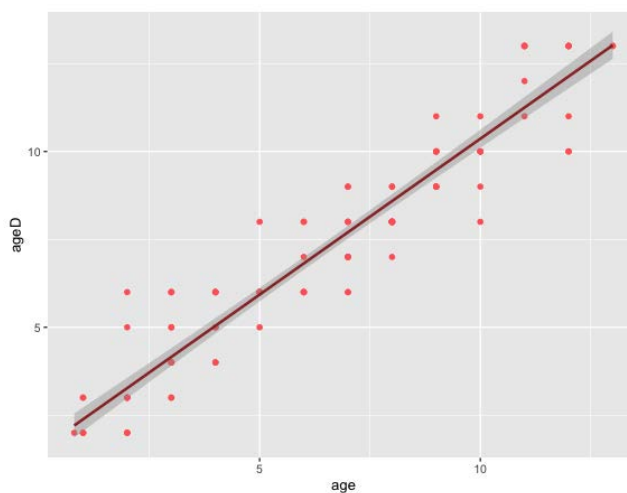


Figure 30 : droite de corrélation entre l'âge dentaire et l'âge civil

Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les moyennes d'âge civil et d'âge dentaire et une corrélation forte est trouvée ($r^2=0,9$). La concordance de ces variables est étudiée pour chaque individu à travers des tableaux de répartition des âges et le calcul d'un coefficient kappa (tableaux 2 et 3).

Tableau 2 : répartition des âges dentaires en fonction des âges civils chez les garçons

		Age dentaire														
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Age civil	0			1												
	1			2	2											
	2			2	4		1									
	3				1	2	2	3								
	4					2	1	1								
	5						1	3		1						
	6							2		1						
	7							1	1	2						
	8								1	7	1					
	9										4		1			
	10										1	1				
	11												1	1	1	5
	12											1			2	9
	13														2	18
													1	3	24	

Tableau 3 : répartition des âges dentaires en fonction des âges civils chez les filles

		Age dentaire														
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Age civil	0															
	1			2												
	2			1	2											
	3				1	4										
	4					1	2	3								
	5							5								
	6							2	1	1						
	7							1	3	1	2					
	8									1	1					
	9										1	5				
	10									1		4	1			
	11														3	
	12											1	1		4	9
	13															28
													2	2	14	

Concernant les individus de sexe masculin, il y a une différence statistiquement non significative entre l'âge civil et l'âge dentaire (df = 116,69 et p=0,22).

On visualise une surestimation de l'âge dentaire par rapport à l'âge civil. Au total, le nombre d'individus dont l'âge dentaire a été estimé similaire à l'âge civil est de 24, 18 individus ont une surestimation de leur âge d'1 an, 9 individus de 2 ans et 5 individus de 5 ans.

On remarque quelques individus avec un âge civil sous-estimé par l'âge dentaire, 3 plus jeunes de 1 an et 1 plus jeune de 2 ans (tableau 2).

Les moyennes d'âge sont calculées à 6,03 ans pour l'âge civil et 6,78 ans pour l'âge dentaire.

Concernant les individus de sexe féminin, la différence entre l'âge civil et l'âge dentaire est non statistiquement significative (df = 109,84 et p-value = 0,20).

On visualise une surestimation globale de l'âge dentaire par rapport à l'âge civil avec 14 individus bien classés par rapport à leur âge civil, 28 individus dont l'âge est surestimé de 1 an, 9 individus avec un âge surestimé de 2 ans et 4 individus dont l'âge a été sous-estimé (2 individus de 1 an et 2 individus de 2 ans) (tableau 3).

Les moyennes d'âge sont calculées à 6,82 ans pour l'âge civil et 7,61 ans pour l'âge dentaire.

Ces tableaux illustrent le nombre important de sous et surestimations de l'âge civil par l'âge dentaire avec un kappa pondéré calculé à 0,5.

3. Volume sinusal

Les volumes moyens droits et gauches ont été calculés à $6,17\text{cm}^3$ et $6,3\text{cm}^3$ respectivement. Il n'est pas montré de différence statistiquement significative ($df=229,58$, $p=0,67$) entre ces deux variables. Nous déterminons un volume moyen global, appelé VSm.

Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les sexes ($p=0,47$), avec des volumes moyens calculés à $6,53\text{cm}^3$ pour les filles et $6,03\text{cm}^3$ pour les garçons.

II. Statistiques analytiques

1. Age dentaire

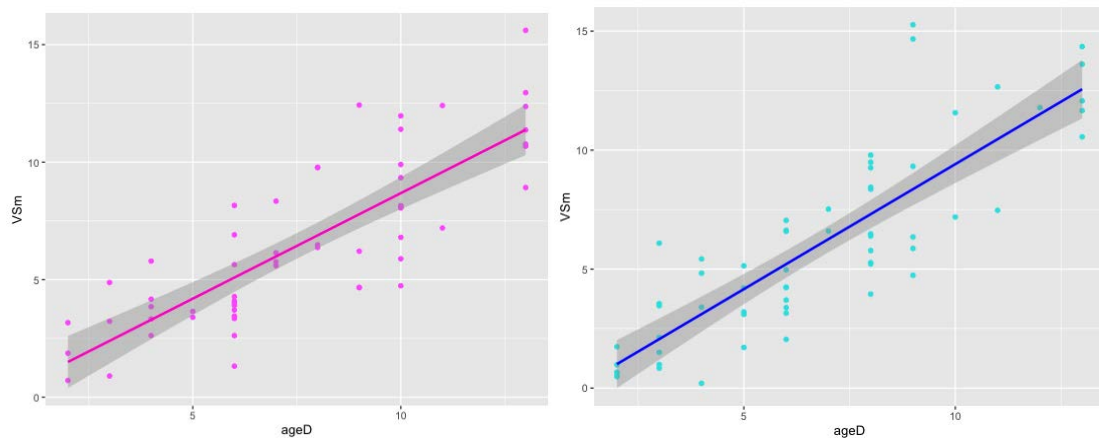


Figure 31 : droites de régression des volumes moyens en fonction de l'âge dentaire chez les filles et les garçons

Concernant les individus de sexe féminin, la régression linéaire est représentée par une droite dont la formule est : $y = 0,66x + 2,7$, avec un coefficient d'association $r^2 = 0,66$.

Concernant les individus de sexe masculin, la régression linéaire est représentée par une droite de formule : $y = 0,70x + 2,7$, avec un coefficient d'association $r^2 = 0,70$.

Les associations sont statistiquement significatives pour les filles et les garçons ($p < 0,01$).

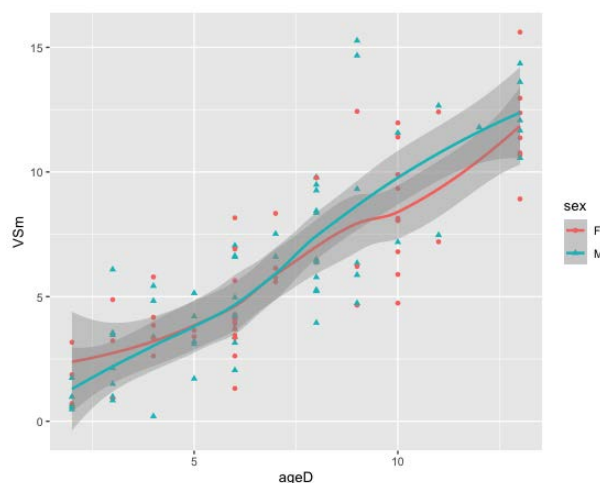


Figure 32 : courbes de régression des volumes moyens en fonction de l'âge dentaire selon le sexe

Les courbes d'ajustement par régression locale du volume moyen en fonction de l'âge dentaire selon le sexe sont représentées par la figure 32.

Le volume sinusal moyen est étudié en fonction de l'âge dentaire en tant que variable continue. Cette variable est discrétisée avec la détermination de trois tranches d'âge selon l'analyse de la courbe de régression (figure 32 et 33).

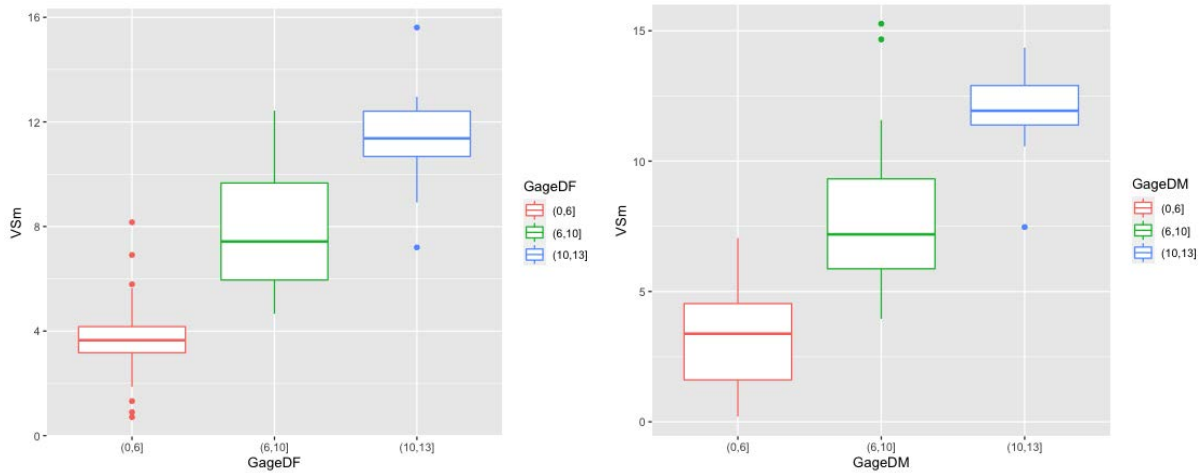


Figure 33 : box plots des volumes moyens en fonction de l'âge dentaire selon trois tranches d'âges chez les filles et les garçons

Concernant les sujets de sexe féminin, il y a 25 individus dans la tranche 0-6 ans avec un volume sinusal moyen de $3,72\text{cm}^3$ (min= $0,71\text{cm}^3$, max= $8,16\text{cm}^3$), 22 individus dans la tranche 6-10 ans avec un volume moyen calculé à $7,75\text{cm}^3$ (min= $4,66\text{cm}^3$, max= $12,4\text{cm}^3$) et 9 individus dans la tranche 10-13 ans avec un volume moyen de $11,37\text{cm}^3$ (min= $7,2\text{cm}^3$, max= $15,61\text{cm}^3$) (figure 33).

L'ANOVA et le test de Tukey mettent en évidence une différence statistiquement significative entre les groupes d'âge dentaire avec $p < 0,01$.

Concernant les sujets de sexe masculin, on retrouve 31 individus dans la tranche 0-6 ans avec un volume sinusal moyen de $3,23\text{cm}^3$ (min= $0,20\text{cm}^3$, max= $7,05\text{cm}^3$), 21 individus dans la tranche 6-10 ans avec un volume moyen calculé à $7,98\text{cm}^3$ (min= $3,95\text{cm}^3$, max= $15,27\text{cm}^3$) et 8 individus dans la tranche 10-13 ans avec un volume moyen de $11,77\text{cm}^3$ (min= $7,47\text{cm}^3$, max= $14,35\text{cm}^3$) (figure 33).

L'ANOVA et le test de Tukey mettent en évidence une différence statistiquement significative entre les groupes avec $p < 0,01$.

2. Age civil

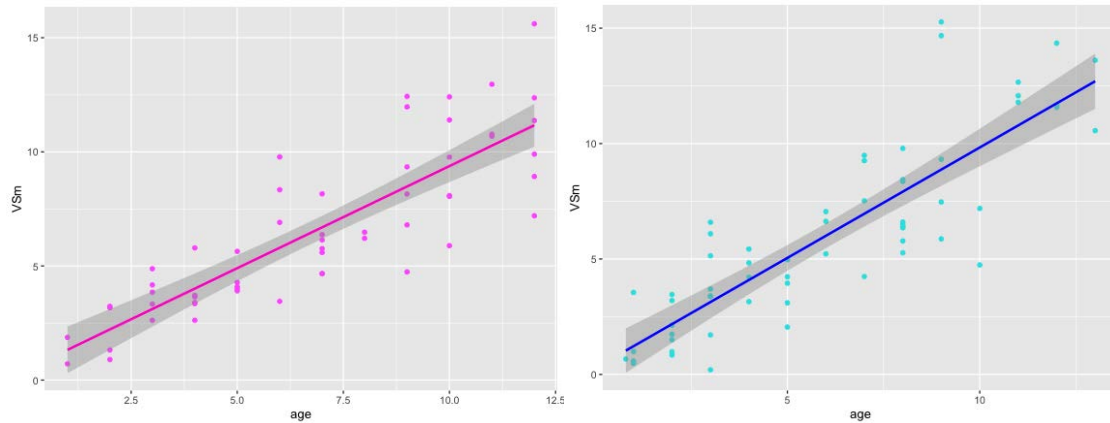


Figure 34 : droites de régression des volumes moyens en fonction de l'âge civil chez les filles et les garçons

Concernant les individus de sexe féminin, la régression linéaire est représentée par une droite dont la formule est : $y = 0,71x + 1,6$, avec un coefficient d'association $r^2 = 0,71$.

Concernant les individus de sexe masculin, la régression linéaire est représentée par une droite de formule : $y = 0,72x + 1,4$, avec un coefficient d'association $r^2 = 0,72$.

Les associations sont statistiquement significatives pour les filles et les garçons avec $p < 0,01$.

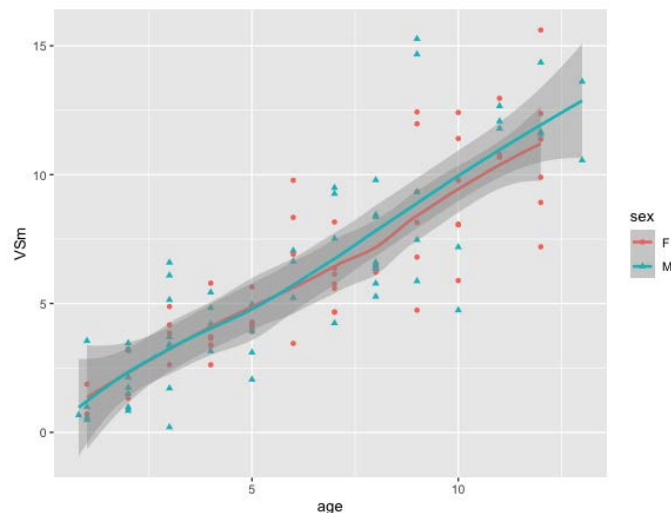


Figure 35 : courbes de régression des volumes moyens en fonction de l'âge civil selon le sexe

Les courbes d'ajustement par régression locale du volume moyen en fonction de l'âge civil selon le sexe sont représentées par la figure 35.

Le volume sinusal moyen est étudié en fonction de l'âge civil en tant que variable continue. Cette variable est discrétisée avec la détermination de trois tranches d'âge selon l'analyse de la courbe de régression (figure 35 et 36).

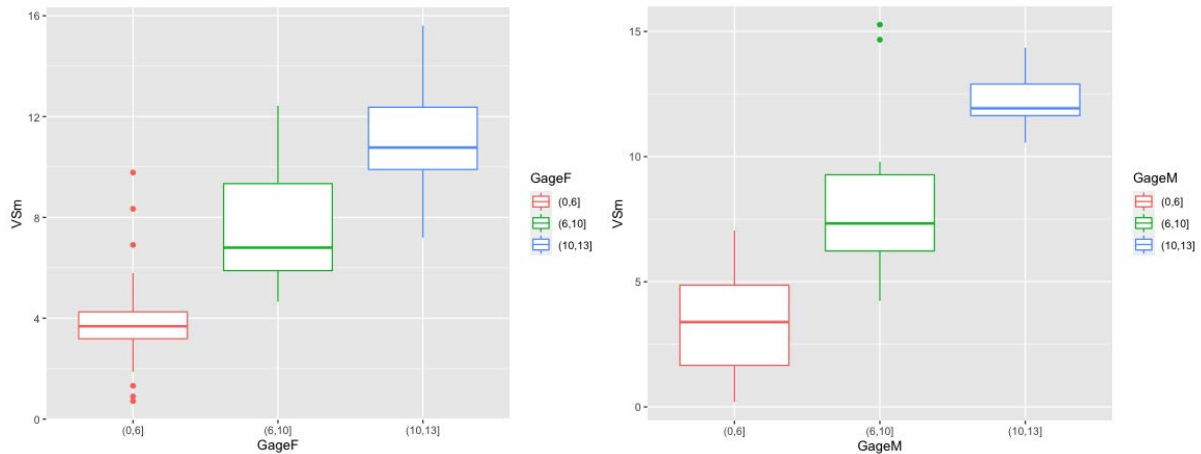


Figure 36 : box plots des volumes moyens en fonction de l'âge civil selon trois tranches d'âges chez les filles et les garçons

Concernant les sujets de sexe féminin, on retrouve 26 individus dans la tranche 0-6 ans avec un volume sinusal moyen de $3,96\text{cm}^3$ (min= $0,71\text{cm}^3$, max= $9,78\text{cm}^3$), 21 individus dans la tranche 6-10 ans avec un volume moyen calculé à $7,76\text{cm}^3$ (min= $4,66\text{cm}^3$, max= $12,4\text{cm}^3$) et 9 individus dans la tranche 10-13 ans avec un volume moyen de $11,09\text{cm}^3$ (min= $7,2\text{cm}^3$, max= $15,61\text{cm}^3$) (figure 35).

L'ANOVA et le test de Tukey mettent en évidence une différence statistiquement significative entre les groupes d'âge civil avec $p < 0,01$.

Concernant les sujets masculins, on retrouve 32 individus dans la tranche 0-6 ans avec un volume sinusal moyen de $3,28\text{cm}^3$ (min= $0,20\text{cm}^3$, max= $7,05\text{cm}^3$), 20 individus dans la tranche 6-10 ans avec un volume moyen calculé à $7,93\text{cm}^3$ (min= $4,24\text{cm}^3$, max= $15,27\text{cm}^3$) et 8 individus dans la tranche 10-13 ans avec un volume moyen de $12,28\text{cm}^3$ (min= $10,56\text{cm}^3$, max= $14,35\text{cm}^3$) (figure 35).

L'ANOVA et le test de Tukey mettent en évidence une différence statistiquement significative entre les groupes avec $p < 0,01$.

3. Dimensions

a. Sinus droit

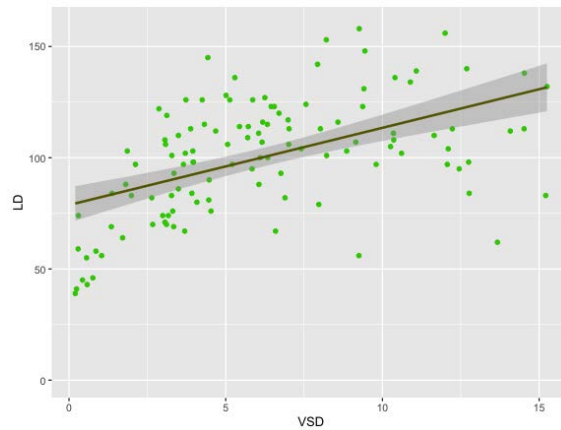


Figure 35 : droite de régression du volume sinusal droit en fonction de la longueur

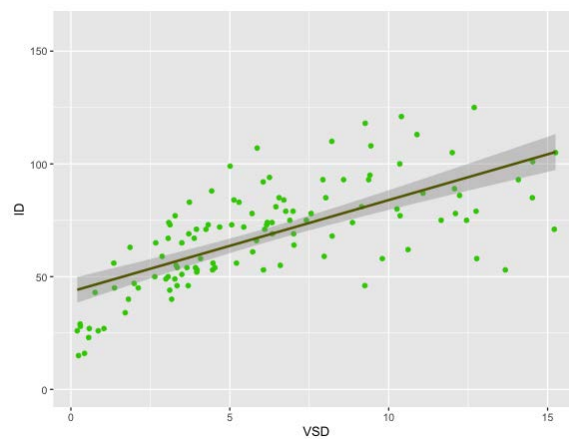


Figure 36 : droite de régression du volume sinusal droit en fonction de la largeur

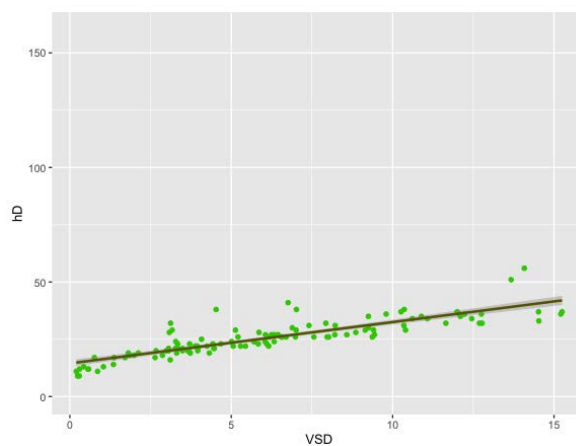


Figure 37 : droite de régression du volume sinusal droit en fonction de la hauteur

La régression linéaire du volume du sinus droit (VSD) en fonction de la longueur (LD) est représentée par une droite d'équation : $y = 78,8x + 0,25$ ($p < 0,01$, $r^2 = 0,25$), celle en fonction de la largeur (ID) par une droite d'équation : $y = 43,4x + 0,46$ ($p < 0,01$, $r^2 = 0,46$) et celle en fonction de la hauteur (hD), par une droite d'équation : $y = 14,5x + 0,73$ ($p < 0,01$, $r^2 = 0,73$).

b. Sinus gauche

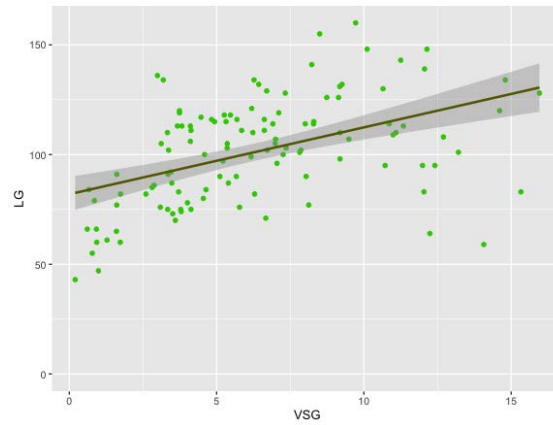


Figure 38 : droite de régression du volume sinusal gauche en fonction de la longueur

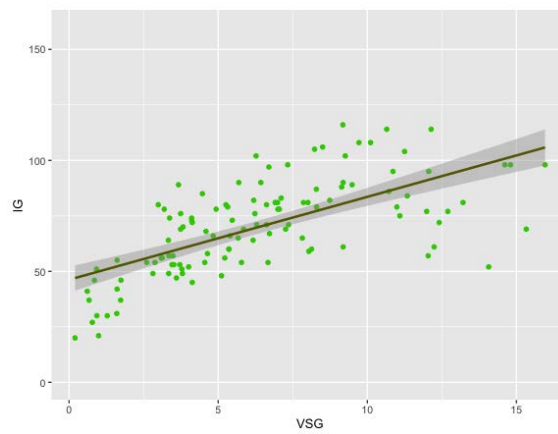


Figure 39 : droite de régression du volume sinusal gauche en fonction de la largeur

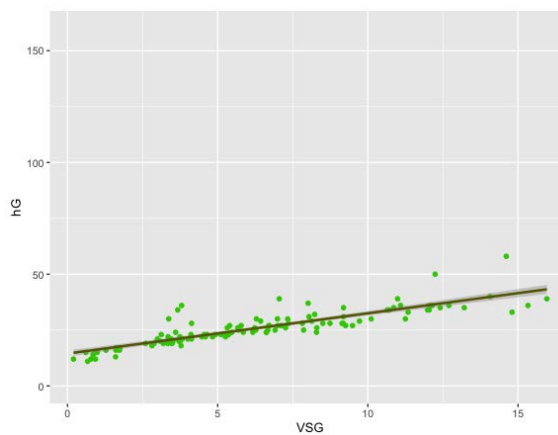


Figure 40 : droite de régression du volume sinusal gauche en fonction de la hauteur

La régression linéaire du volume du sinus gauche (VSG) en fonction de la longueur (LG) est représentée par une droite d'équation : $y = 81,9x + 0,21$ ($p < 0,01$, $r^2 = 0,21$), celle en fonction de la largeur (IG) par une droite d'équation : $y = 46,2x + 0,43$ ($p < 0,01$, $r^2 = 0,43$) et celle en fonction de la hauteur (hG), par une droite d'équation : $y = 14,5x + 0,74$ ($p < 0,01$, $r^2 = 0,74$).

DISCUSSION

I. Données de l'étude

Le développement des sinus maxillaires dépend de leur croissance et de leur maturation. L'étude du volume des sinus maxillaires d'individus en phase de croissance a permis d'approfondir la compréhension de l'évolution des sinus et l'âge dentaire précise l'influence de l'éruption des dents sur ce développement.

Cette étude suggère la pertinence de l'utilisation de l'âge dentaire pour étudier la cinétique de développement des sinus maxillaires.

1. Échantillon

Nous avons inclus des enfants âgés de 1 à 13 ans, cette période correspond à la phase de croissance du sinus maxillaire⁷⁰. L'âge de 13 ans coïncide également avec l'éruption des 2^{èmes} molaires¹⁰⁰.

Certains sujets qui présentaient des pathologies influençant l'analyse de la pneumatisation des sinus (hémosinus, comblement muqueux, matériel dentaire) n'ont pas été inclus.

Sept sujets ont été exclus car ils présentaient une ou plusieurs valeurs aberrantes au vu de la répartition normale de l'échantillon. Le volume moyen d'un sinus à 12-13 ans serait de 15,3cm³ (+/- 3,2 cm³)^{3,25}, les sujets ayant des volumes moyens > 18 cm³ ont été exclus.

De même, les sujets présentant des valeurs égales à 0 ou dans les extrêmes concernant les dimensions (h >60mm, L <20 ou >160mm, l <15 ou >120mm) ont également été exclus.

Notre échantillon était homogène avec un nombre d'individus féminins équivalent à celui d'individus masculins.

2. Méthode

L'utilisation de l'imagerie et notamment du scanner pour l'étude des sinus maxillaires a montré une bonne fiabilité, elle est accessible à des sujets vivants, non invasive et peut être répétée à plusieurs reprises dans le cadre du suivi d'un même individu²⁶.

L'utilisation de la reconstruction 3D est reconnue pour l'étude du volume des sinus et a été utilisée dans de nombreux autres travaux^{24,92,101,102}.

Pour l'estimation de l'âge dentaire, les méthodes de maturation sont habituellement préférées car c'est un mécanisme continu indépendant de l'éruption dentaire qui peut être influencée par des facteurs systémiques et environnementaux (malnutrition, troubles endocriniens, infections, traumatismes). La résolution des coupes de scanner dont nous disposions nous permettait de visualiser les dents et les germes mais n'était pas suffisante à l'étude de la minéralisation des couronnes dentaires.

Ainsi, dans ce travail, l'application de méthodes type Demirjian⁶⁴ ou Willems⁶⁸ n'était pas envisageable. Nous avons donc établi les âges dentaires en fonction de l'émergence des germes des dents permanentes du maxillaire supérieur, après comparaison auprès des tables de référence, l'échelle de Schour et Massler⁶³ et l'Atlas of Human Tooth Development and Eruption⁵⁹.

Concernant les statistiques, des régressions linéaires simples et une régression locale non paramétrique ont été utilisées afin de mettre en évidence des corrélations entre les différentes variables. Des boîtes à moustache par tranche d'âge ont également été réalisées, elles n'apportaient pas de précision supplémentaire concernant l'évolution des volumes des sinus par rapport aux courbes de régression mais permettaient une visualisation des volumes moyens par tranches d'âge. Ces trois tranches d'âge ont été déterminées à partir des courbes de régression du volume sinusal en fonction de l'âge avec l'hypothèse de variations dans la croissance des sinus à certains âges.

3. Résultats

a. Age civil et âge dentaire

Dans cette étude, il n'est pas retrouvé de différence statistiquement significative entre l'âge civil et l'âge dentaire ($p=0,08$), cependant la lecture des tableaux montre une absence de concordance entre ces deux variables pour la majorité des individus et le kappa pondéré était calculé à 0,5. En effet, 41 filles et 36 garçons ont vu leur âge civil sous ou surestimé par l'âge dentaire, cela concerne toutes les tranches d'âges et on remarque une prépondérance de surestimation pour les individus de sexe féminin.

L'âge dentaire est lié au développement d'un individu et illustre davantage son âge physiologique que l'âge civil, ils peuvent différer au cours d'une croissance normale.

Plusieurs études précédentes menées sur des populations d'enfants dénués de pathologies retrouvaient des résultats similaires avec une différence entre l'âge dentaire et l'âge civil de plus de six mois^{75,103,104} ainsi qu'une maturation dentaire plus précoce chez les filles^{105,96,106} pouvant justifier la prédominance de surestimation de l'âge dans la population féminine de notre étude.

b. Volume

Nos résultats retrouvent des volumes moyens des sinus plus petits que ceux évoqués dans de précédentes études. L'équipe de Lee et al.²⁵ estimait un volume moyen des sinus de 10,57 cm³ à droite et 10,70 cm³ à gauche, Rennie et al.¹⁰² qui ont réalisé une des plus importantes études avec segmentation à partir de scanners obtenait un volume moyen de 8,73 cm³ à droite et 8,85 cm³ à gauche. Conformément à nos résultats, aucune différence significative n'était objectivée entre les deux côtés.

Cette étude trouve une association statistiquement significative et une corrélation forte avec des coefficients de corrélation ajustés compris entre 0,66 et 0,72 entre le volume sinusal et l'âge, civil ou dentaire.

Par ailleurs, la lecture des courbes (*figures 32 et 35*) pourrait suggérer une évolution du volume sinusal en fonction de l'âge dentaire moins linéaire en comparaison avec l'âge civil. Il semblerait y avoir une tendance à une accélération de la croissance des sinus entre 6 et 10 ans pour les individus masculins et entre 6 et 9 ans puis de 10 à 13 ans pour les individus féminins avec une phase de plateau autour de l'âge de 10 ans.

Ces phases d'accroissement peuvent correspondre à deux périodes d'éruption dentaire. La première voit l'émergence de la 1^{ère} molaire (dent de 6 ans) et des incisives centrale et latérale entre 7 et 8 ans et la seconde a lieu de 10 à 13 ans avec la mise en place chronologiquement de la 1^{ère} prémolaire, la canine et la 2^{ème} prémolaire puis la 2^{ème} molaire^{59,63}. De plus, Gaudy et al.¹⁰⁷ décrivent une stabilisation de la croissance des sinus vers 12 ans avec l'éruption des dernières molaires (sans tenir compte des dents de sagesse).

D'autres études corroborent l'absence de linéarité dans la croissance des sinus maxillaires, une datée de 2010 conduite sur une population d'enfants asiatiques mettait en évidence deux périodes d'accroissement important entre la naissance et 2 ans puis entre 7 et 12 ans²⁴, une autre montrait également deux phases de croissance entre 0 et 5 ans et après 7 ans²⁵. Cependant, ces études utilisaient l'âge civil comme variable.

L'absence de visualisation d'accélération de la croissance en deçà de 5 ans dans notre étude peut être expliquée par un manque d'individus en bas âge, notamment inférieur à 2 ans.

c. Dimensions

Les dimensions moyennes des sinus dans cette étude sont différentes de celles retrouvées dans les travaux de Lee et al.²⁵ avec 2,46 × 3,34 × 3,15 cm (largeur x longueur x hauteur) du côté droit et 2,50 × 3,35 × 3,20 cm du côté gauche. Par ailleurs, l'absence de différence statistiquement significative entre les côtés droit et gauche était rapportée de manière similaire à nos résultats.

Une association statistiquement significative est retrouvée entre le volume du sinus et ses dimensions (largeur, longueur et hauteur). La corrélation la plus forte s'établit entre le volume et la hauteur, avec des coefficients de corrélation ajustés à 0,73 pour les sinus droits et 0,74 pour les sinus gauches. Ces résultats font évoquer une direction principalement verticale de la croissance du sinus. De plus, il semblerait que l'expansion en hauteur du sinus se prolongerait plus longtemps, il a été remarqué une phase de plateau vers 10-15 ans dans le développement antéro-postérieur et en largeur alors que le volume continue de croître en hauteur jusqu'à environ 15-20 ans⁹².

Ces éléments peuvent être expliqués par le lien entre maturation du sinus et éruption dentaire. En effet, le sinus croît par pneumatization du volume osseux laissé par l'émergence des germes dentaires sur les arcades dentaires¹⁰⁸. Les dernières molaires émergeant vers 18 ans, on peut envisager une croissance du sinus jusqu'à cet âge.

d. Différences selon le sexe

Il n'est pas retrouvé de différence statistiquement significative entre les sexes concernant les volumes moyens des sinus ($p=0,47$). Cependant, des différences peuvent être observées au cours de l'évolution du volume en fonction de l'âge dentaire, avec une tendance de sinus plus grands chez les filles à des âges précoces, des volumes similaires entre les sexes dans l'enfance puis des sinus de plus grande taille chez les individus de sexe masculin avec une différence plus marquée après 10 ans. Ces résultats sont similaires à ceux de plusieurs études qui observaient un volume moyen du sinus maxillaire plus grand chez les filles que chez les garçons dans l'enfance, notamment entre 0 et 6 ans^{26,109} et une superposition au pic de croissance¹⁰⁸.

La croissance est différente entre les individus féminins et masculins, les filles commencent à se développer plus tôt et présentent une puberté plus précoce que les garçons^{110,111}. La maturation dentaire suit cette croissance globale de l'individu et peut expliquer l'accroissement plus avancé des sinus maxillaires chez les filles dans les premières années de vie^{95,96,112,113}. Il en résulte également une stabilisation de la croissance du sinus maxillaire plus précoce pour les individus de sexe féminin^{102,114}.

Nous observons un volume des sinus maxillaire plus important chez les individus de sexe masculin à partir de 8-10 ans avec une tendance au maintien de cette différence au cours de l'adolescence. De multiples auteurs s'accordent sur le fait que les sinus maxillaires sont plus larges chez les individus de sexe masculins après la puberté¹⁶ et à l'âge adulte^{23,115,116} sans que des différences statistiquement significatives ne soient mises en évidence entre les sexes^{117,118}.

II. Limites de l'étude

Plusieurs éléments de notre travail peuvent expliquer de tels résultats.

Tout d'abord, l'échantillon n'est pas représentatif de la population générale, en effet le recrutement a été réalisé à partir de scanners effectués dans un contexte clinique de suspicion pathologique, il peut donc exister un biais de sélection. De plus, certains sujets inclus étaient atteints de pathologies permettant une analyse de la pneumatisation mais qui pouvaient influencer la taille des sinus. Il a été établi des liens entre certaines pathologies et des modification de volume des sinus, par exemple une classe d'Angle II entraînerait des sinus de plus grand volume⁷⁴ tandis que des sinus plus petits seraient retrouvés en cas de rhino-sinusite chronique^{119,120,121}.

Ensuite, la segmentation à l'aide du logiciel 3D-Slicer était semi-automatique ce qui a pu entraîner des erreurs lors de la prise des mesures. Chez les individus en bas âge, le sinus est peu pneumatisé donc la sélection du volume à segmenter était plus complexe en comparaison aux individus plus âgés. De même, une inexactitude concernant le volume à segmenter pouvait être liée aux retouches manuelles nécessaires pour délimiter les sinus par rapport aux structures de même intensité qui communiquaient avec eux.

De même, les méthodes d'estimation de l'âge dentaire utilisées manquaient de précision et ont pu être à l'origine d'une sous-estimation par moins bonne visualisation de l'apparition des couronnes dentaires par rapport à une analyse radiologique plus fine, qui permet de voir l'ébauche dentaire dès le début de la calcification.

D'un point de vue statistique, la régression locale (méthode LOESS) nécessite un nombre de données important pour engendrer des modèles corrects et elle n'est pas représentée par une formule mathématique, ce qui peut complexifier la transmission des informations. Elle peut également être influencée par les valeurs aberrantes des données, comme toutes méthodes de régression par les moindres carrés, ce que nous avons limité dans cette étude par l'exclusion des sujets qui présentaient des valeurs aberrantes.

L'absence de différence statistiquement significative entre l'âge civil et l'âge dentaire peut être expliquée par un manque de puissance dans notre étude, liée à un nombre insuffisant de sujets analysés.

III. Perspectives

Des travaux précédents avaient évoqué un lien entre la croissance de certaines structures de la face et l'éruption dentaire^{10,22,94,122} mais le rapport avec le développement du sinus maxillaire n'avait pas été clairement établi, notamment en utilisant l'âge dentaire et non l'âge civil.

Il conviendrait d'étudier ce rapport de manière approfondie, en incluant un nombre de sujets plus important. En effet, il serait intéressant de vérifier s'il existe une différence significative entre l'âge civil et l'âge dentaire, de confirmer nos premiers résultats en montrant l'absence de linéarité dans la croissance du sinus en fonction de l'âge dentaire et de préciser la présence d'une différence selon le sexe, et notamment sa significativité dans un plus grand échantillon.

Par ailleurs, élargir l'inclusion des sujets de la naissance à 18 ans permettrait d'étayer l'hypothèse d'un pic de croissance du volume du sinus maxillaire dans les premières années de vie, souligner la présence d'une phase de plateau de la croissance au moment de la puberté et clarifier les différences de volumes entre les sexes à la fin de la maturation des sinus.

Enfin, les données concernant l'évolution des sinus peuvent être utilisées pour l'étude du dimorphisme sexuel avec, pour paramètre le plus discriminant, le diamètre antéro-postérieur¹²³. Le volume peut également être étudié car il présente des variations selon le sexe au cours de la croissance. Chez les filles les sinus se développent plus précocement que chez les garçons, ensuite le développement se superpose au moment du pic de croissance puis les sinus apparaissent plus grands chez les individus de sexe masculin à la fin de la puberté¹⁰⁸. Le dimorphisme sexuel de la face commence à se mettre en place à une période pré-pubertaire, certains auteurs soutiennent cette notion avec un début dans l'enfance vers 6 ans⁸¹.

Des études chez les mammifères n'ont montré aucun dimorphisme sexuel de la taille des sinus maxillaire^{124,125} alors que ce dimorphisme sexuel des sinus paranasaux chez les adultes humains a été confirmé^{83,126,127,128}.

CONCLUSION

Ce travail a mis en évidence le lien entre le développement du sinus maxillaire et la maturation dentaire à travers une corrélation avec l'âge dentaire, et souligne également l'adéquation avec la croissance globale des individus. Néanmoins, les limites et notamment le manque de puissance de cette étude nécessiteraient de nouvelles investigations sur une population plus importante afin d'améliorer la précision et la qualité des informations concernant l'évolution des sinus maxillaires, mais aussi paranasaux, chez des individus en phase de croissance avec une implication dans les prises en charge thérapeutiques des enfants et adolescents.

Professeur Norbert TELMON
N° ADEL: 311076731
Hôpital RANGUEIL
1, avenue Jean Poulhès - TSA 50032
31059 TOULOUSE Cedex 9

Vu et permis d'imprimer
Par délégation, la Vice-Doyenne de la Faculté de Santé
Directrice du Département Médecine Maternité Paramédical

Professeure Odile RAUZY



BIBLIOGRAPHIE

1. Underwood, A. S. An Inquiry into the Anatomy and Pathology of the Maxillary Sinus. *J. Anat. Physiol.* **44**, 354–69 (1910).
2. Schaeffer, J. The sinus maxillaris and its relations in the embryo, child, and adult man. **10**, (1910).
3. Saad, A. Anatomie interne du sinus maxillaire : étude des cloisons sinusiennes. (2019).
4. Netter, F. H. *Atlas of human anatomy*. (Saunders/Elsevier, 2011).
5. Toppozada, H. H. & Talaat, M. A. The normal human maxillary sinus mucosa: An electron microscopic study. *Acta Otolaryngol.* **89**, 204–213 (1980).
6. Frederic, B., Jones, W. & Jones, F. W. The Anterior Superior Alveolar Nerve. *J Anat* **73**, 583–591 (1939).
7. Lawson, W., Patel, Z. M. & Lin, F. Y. The development and pathologic processes that influence maxillary sinus pneumatization. *Anat. Rec.* **291**, 1554–1563 (2008).
8. Anagnostopoulou, S., Venieratos, D. & Spyropoulos, N. Classification of human maxillar sinuses according to their geometric features. *Anat. Anz.* **173**, 121–130 (1991).
9. Marino, M. J. *et al.* Variability of paranasal sinus pneumatization in the absence of sinus disease. *Ochsner J.* **20**, 170–175 (2020).
10. Whyte, A. & Boeddinghaus, R. The maxillary sinus: Physiology, development and imaging anatomy. *Dentomaxillofacial Radiol.* **48**, (2019).
11. SN Byers. Identification of euro americans, afro americans and amerindians froms palatal dimensions. (1997).
12. Dargaud, J., Cotton, F., Buttin, R. & Morin, A. [The maxillary sinus: evolution and function in aging]. *Morphologie* **87**, 17–22 (2003).
13. Waugh, A., Grant, A., Cosserat, J. & Scott, J. *Ross et Wilson. Anatomie et physiologie normales et pathologiques*. (Elsevier Health Sciences, 2019).
14. Eloy, P., Nollevaux, M.-C. & Bertrand, B. Physiologie des sinus paranasaux. *EMC - Oto-rhino-laryngologie* **1**, 1–10 (2006).
15. Klossek, J. M. La physiologie naso-sinusienne. *Rev. Fr. Allergol.* **8**, (1998).
16. Lorkiewicz-Muszyńska, D. *et al.* Development of the maxillary sinus from birth to age 18. Postnatal growth pattern. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* **79**, 1393–1400 (2015).
17. Cunningham, C., Scheuer, L. & Black, S. *Developmental Juvenile Osteology: Second Edition*. (2016).

18. VAN ALYEA, O. E. The ostium maxillare : anatomic study of its surgical accessibility. *Arch. Otolaryngol.* **24**, 553–569 (1936).
19. Cullen, R. L. & Vidić, B. The dimensions and shape of the human maxillary sinus in the perinatal period. *Cells Tissues Organs* **83**, 411–415 (1972).
20. Wolf, G., Anderhuber, W. & Kuhn, F. Development of the paranasal sinuses in children: implications for paranasal sinus surgery. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* **102**, 705–711 (1993).
21. Lee, C. H. *et al.* Development of the Paranasal Sinuses in Children: A MRI Study. *Korean J. Otorhinolaryngol. Neck Surg.* (2000).
22. Scuderi, A. J., Harnsberger, H. R. & Boyer, R. S. Pneumatization of the paranasal sinuses: Normal features of importance to the accurate interpretation of CT scans and MR images. *Am. J. Roentgenol.* **160**, 1101–1104 (1993).
23. Ariji, Y., Kuroki, T., Moriguchi, S., Ariji, E. & Kanda, S. Age changes in the volume of the human maxillary sinus: a study using computed tomography. *Dentomaxillofac. Radiol.* **23**, 163–168 (1994).
24. Park, I. H. *et al.* Volumetric study in the development of paranasal sinuses by CT imaging in Asian: A Pilot study. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* **74**, 1347–1350 (2010).
25. Lee, S., Fernandez, J. W., Mahadevan, M., Tarr, G. & Mirjalili, A. Using 3D-reconstruction to analyse typical growth trends of the maxillary sinus in children. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* **138**, 110334 (2020).
26. Ikeda, A., Ikeda, M. & Komatsuzaki, A. A CT study of the course of growth of the maxillary sinus: Normal subjects and subjects with chronic sinusitis. *Orl* **60**, 147–152 (1998).
27. Maresh, M. Paranasal sinuses from birth to late adolescence. (1940).
28. Lang, J. & Stell, P. M. Clinical anatomy of the nose, nasal cavity, and paranasal sinuses. in (1989).
29. Przystańska, A. *et al.* The Association between Maxillary Sinus Dimensions and Midface Parameters during Human Postnatal Growth. *Biomed Res. Int.* **2018**, 6391465 (2018).
30. KOPPE, T. *et al.* Maxillary sinus pneumatization of an adult skull with an untreated bilateral cleft palate. *J. Cranio-Maxillofacial Surg.* **34**, 91–95 (2006).
31. 1: Tête et cou | Medicine Key. <https://clemedicine.com/1-tete-et-cou/>.
32. Adnot, J. Fractures nasomaxillaires, notre expérience et revue de la littérature. in (2017).
33. P, K. Anatomie clinique, T2 Tête, Cou, Dos. 2006.

34. Os Zygomatique. <https://fr.dreamstime.com/os-zygomatique-nom-description-tous-les-sites-image132541795>.
35. Os palatin : anatomie, structure, fonction normales. https://fr-m.iliveok.com/health/os-palatin_75649i16008.html.
36. Berichard. Os lacrymal droit, vue latérale. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1c/Os_lacrymal.png (2008).
37. Anatomie du nez et des sinus paranasaux : illustrations légendées | e-Anatomy - e-Anatomy. <https://www.imaios.com/fr/e-Anatomy/Tete-et-cou/Cavite-nasale?taxonId=717&taId=1&structureID=748&frame=48>.
38. Toulousain, T. A. cornet inférieur - Spé Tête et Cou. <https://forum.tutoweb.org/topic/44021-cornet-inferieur/>.
39. Vomer Photograph by Asklepios Medical Atlas | Fine Art America. <https://fineartamerica.com/featured/vomer-asklepios-medical-atlas.html>.
40. Imagerie de l'articulation temporo-mandibulaire Dr Rémi Duprès Service de radiologie CHR Mercy.
41. Khonsari, R. H. & Catala, M. Développement de la face. *EMC - Chir. Orale Maxillofac.* **31**, 1–10 (2022).
42. Akinin, J. Croissance craniofaciale. *EMC Odontol. dentofaciale* **31**, 1–22 (2008).
43. Lieberman, D. E. *The Evolution of the Human Head*. (Harvard University Press, 2011). doi:10.2307/j.ctvjnrtmh.
44. Brodie, A. G. Some recent observations on the growth of the face and their implications to the orthodontist. *Am. J. Orthod. Oral Surg.* **26**, 741–757 (1940).
45. Weinmann, J. P. & Sicher, H. Bone and bones. in (1955).
46. Tweed, C. H. Was the development of the diagnostic facial triangle as an accurate analysis based on fact or fancy? *Am. J. Orthod.* **48**, 823–840 (1962).
47. Moss, M. L. & Salentijn, L. The primary role of functional matrices in facial growth. *Am. J. Orthod.* **55**, 566–577 (1969).
48. Scott, J. H. The Growth of the Human Face. *J. R. Soc. Med.* **47**, 91–100 (1954).
49. Petrovic, A., Oudet, C. & Stutzmann, J. Behandlungsergebnisse hinsichtlich der Dauer der übertriebenen posturalen Vorschubstellung des Unterkiefers. Tierexperimentelle Untersuchungen über den Mechanismus des Rückfalls. *Fortschr. Kieferorthop.* **37**, 40–51 (1976).
50. van Limborgh, J. A new view of the control of the morphogenesis of the skull. *Acta Morphol. Neerl. Scand.* **8**, 143–160 (1970).
51. Björk, A. Facial growth in man, studied with the AID of metallic implants. *Acta*

- Odontol. Scand.* **13**, 9–34 (1955).
52. Enlow, D. H., Moyers, R. E., Hunter, W. S. & McNamara, J. A. A procedure for the analysis of intrinsic facial form and growth An equivalent-balance concept. *Am. J. Orthod.* **56**, 6–23 (1969).
 53. Lewis, J. & Senn, D. Forensic Dental Age Estimation: An Overview. *J. Calif. Dent. Assoc.* **43**, 315–319 (2015).
 54. Espinoza-Silva, P., López-Lázaro, S. & Fonseca, G. Forensic odontology and dental age estimation research: a scoping review a decade after the NAS report on strengthening forensic science. *Forensic Sci. Med. Pathol.* (2022) doi:10.1007/s12024-022-00499-w.
 55. Shah, P., Velani, P., Lakade, L. & Dukle, S. Teeth in forensics: A review. *Indian J. Dent. Res.* **30**, 291 (2019).
 56. Anatomie et nomenclature dentaire | Bùcco. <https://www.orthodontisteenligne.com/anatomie-nomenclature-dentaire-2/>.
 57. Ash, M. & Nelson, S. *Dental Anatomy, Physiology and Occlusion.* (2003).
 58. Karaday, B., Afşin, H., Ozaslan, A. & Karaday, Ş. Development of dental charts according to tooth development and eruption for Turkish children and young adults. *Imaging Sci. Dent.* **44**, 103–113 (2014).
 59. AlQahtani, S. J., Hector, M. P. & Liversidge, H. M. Brief communication: The London atlas of human tooth development and eruption. *Am. J. Phys. Anthropol.* **142**, 481–490 (2010).
 60. Badet, C. Odontogenèse aspect morphologiques. <https://docplayer.fr/6413151-L-odontogenese-debute-des-la-fin-du-l-er-poursuit-jusqu-a-l-adolescence-mois-de-vie-intra-uterine-et-se.html>.
 61. Savara, B. S. & Steen, J. C. Timing and sequence of eruption of permanent teeth in a longitudinal sample of children from Oregon. *J. Am. Dent. Assoc.* **97**, 209–214 (1978).
 62. Maret, D. & Dent, I. Détermination de l'âge à partir de méthodes dentaires. (2010).
 63. Schour, I. & Massler, M. The development of the human dentition. (1941).
 64. Demirjian, A., Goldstein, H. & Tanner, J. M. A new system of dental age assesment. *Hum. Biol.* **45**, 211–227 (1973).
 65. Pelczar, C. Estimation radiographique de l'âge chez l'enfant et l'adolescent guyanais : comparaison à une population du Sud-Ouest de la France. *Sciences du Vivant [q-bio]*. 2019. dumas-02327956. (2019).
 66. Liversidge, H. M. & Molleson, T. Variation in Crown and Root Formation and Eruption of Human Deciduous Teeth. *Am. J. Phys. Anthropol.* **123**, 172–180 (2004).
 67. Heuzé, Y. Chronologie et étiologie de la maturation macrostructurale des dents

- définitives. *Anthropologie biologique*. Université Sciences et Technologies - Bordeaux I, 2004. Français. fftel-00011208f. (2004).
68. Willems, G. *et al.* Dental Age Estimation in Belgian Children: Demirjian's Technique Revisited. 893–895 (2001).
 69. Esan, T. A., Yengopal, V. & Schepartz, L. A. The Demirjian versus the Willems method for dental age estimation in different populations: A meta-analysis of published studies. *PLoS One* **12**, 1–23 (2017).
 70. Wolf, G., Anderhuber, W. & Frederick, K. Development of the paranasal sinuses in children : implications for paranasal surgery. *Am. J. Rhinol.* **11**, 203–209 (1997).
 71. Uchida, Y., Goto, M., Katsuki, T. & Akiyoshi, T. A cadaveric study of maxillary sinus size as an aid in bone grafting of the maxillary sinus floor. *J. Oral Maxillofac. Surg.* **56**, 1158–1163 (1998).
 72. Rosano, G., Gaudy, J. F., Chaumanet, G., Del Fabbro, M. & Taschieri, S. Les septums du sinus maxillaire. Prévalence et anatomie au travers d'une revue de la littérature de 1980 à 2009. *Rev. Stomatol. Chir. Maxillofac.* **113**, 32–35 (2012).
 73. Kämmerer, P. W. & Lehmann, K. M. Röntgenologische Beurteilung des Sinus Maxillaris vor Augmentation mit Sinusbodenanhebung. *Zeitschrift für Zahnärztl. Implantol.* **37**, 74–77 (2021).
 74. Dah-Jouonzo, H., Baron, P. & Faure, J. Liaisons entre volumes des cavités aériennes et des bases osseuses maxillaires et paramètres de céphalométrie 3D. *l'Orthodontie Française* **78**, 265–281 (2007).
 75. Janson, G. R. P., Martins, D. R., Tavano, O. & Dainesi, E. A. Dental maturation in subjects with extreme vertical facial types. *Eur. J. Orthod.* **20**, 73–78 (1998).
 76. Kabasawa, Y., Seto-Sugiki, Y. & Endo, T. Maxillary sinus size and posterior tooth inclination in Japanese orthodontic patients with agenesis of maxillary second premolars. *Odontology* **108**, 312–320 (2020).
 77. Kosko, J. R., Hall, B. E. & Tunkel, D. E. Acquired maxillary sinus hypoplasia: A consequence of endoscopic sinus surgery? *Am. J. Rhinol.* **11**, 94 (1997).
 78. Sharan, A. & Madjar, D. M. D. D. Maxillary Sinus Pneumatization Following Extractions: A Radiographic Study. **23**, (2008).
 79. Panou, E., Motro, M., Ateş, M., Acar, A. & Erverdi, N. Dimensional changes of maxillary sinuses and pharyngeal airway in Class III patients undergoing bimaxillary orthognathic surgery. *Angle Orthod.* **83**, 824–831 (2013).
 80. Przystańska, A. *et al.* Sexual dimorphism of maxillary sinuses in children and adolescents – A retrospective CT study. *Ann. Anat.* **229**, 6–11 (2020).
 81. Snodell, S. F., Nanda, R. S. & Currier, G. F. A longitudinal cephalometric study of transverse and vertical craniofacial growth. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **104**, 471–483 (1993).

82. Savara, B. S. & Singh, I. J. Norms of size and annual increments of seven anatomical measures of maxillae in boys from three to sixteen years of age. *Angle Orthod.* **38**, 104–120 (1968).
83. Fernandes, C. L. Forensic ethnic identification of crania: The role of the maxillary sinus - A new approach. *Am. J. Forensic Med. Pathol.* **25**, 302–313 (2004).
84. Amin, M. F. & Hassan, E. I. Sex identification in Egyptian population using Multidetector Computed Tomography of the maxillary sinus. *J. Forensic Leg. Med.* **19**, 65–69 (2012).
85. Nishimura, T. D., Takai, M. & Maschenko, E. N. The maxillary sinus of *Paradolichopithecus sushkini* (late Pliocene, southern Tajikistan) and its phyletic implications. *J. Hum. Evol.* **52**, 637–646 (2007).
86. Smith, T. D., Rossie, J. B., Cooper, G. M., Mooney, M. P. & Siegel, M. I. Secondary pneumatization of the maxillary sinus in callitrichid primates: Insights from immunohistochemistry and bone cell distribution. *Anat. Rec. - Part A Discov. Mol. Cell. Evol. Biol.* **285**, 677–689 (2005).
87. Frost, S. R. & Delson, E. Fossil Cercopithecidae from the Hadar Formation and surrounding areas of the Afar Depression, Ethiopia. *J. Hum. Evol.* **43**, 687–748 (2002).
88. Kuntzler, S. & Jankowski, R. Arrested pneumatization: Witness of paranasal sinuses development? *Eur. Ann. Otorhinolaryngol. Head Neck Dis.* **131**, 167–170 (2014).
89. Seifert, C. M. *et al.* Temporal bone pneumatization and its relationship to paranasal sinus development in cystic fibrosis. *Rhinology* **48**, 233–238 (2010).
90. Braun, H. & Stammberger, H. Pneumatization of turbinates. *Laryngoscope* **113**, 668–672 (2003).
91. Shah, R. K., Dhingra, J. K., Carter, B. L. & Rebeiz, E. E. Paranasal sinus development: A radiographic study. *Laryngoscope* **113**, 205–209 (2003).
92. Smith, S. L., Buschang, P. H. & Dechow, P. C. Growth of the maxillary sinus in children and adolescents: A longitudinal study. *HOMO- J. Comp. Hum. Biol.* **68**, 51–62 (2017).
93. Adibelli, Z. H., Songu, M. & Adibelli, H. Paranasal sinus development in children: A magnetic resonance imaging analysis. *Am. J. Rhinol. Allergy* **25**, 30–35 (2011).
94. Dan Vardimon, A. *et al.* Incremental growth of the maxillary tuberosity from 6 to 20 years-A cross-sectional study. *Arch. Oral Biol.* **55**, 655–662 (2010).
95. Anderson, D. L., Thompson, G. W. & Popovich, F. Interrelationships of dental maturity, skeletal maturity, height and weight from age 4 to 14 years. *Growth* **39**, 453–462 (1975).
96. Uysal, T., Sari, Z., Ramoglu, S. I. & Basciftci, F. A. Relationships between dental and skeletal maturity in Turkish subjects. *Angle Orthod.* **74**, 657–664 (2004).

97. Strickland, N. H. PACS (picture archiving and communication systems): Filmless radiology. *Arch. Dis. Child.* **83**, 82–86 (2000).
98. 3D Slicer image computing platform | 3D Slicer. <https://www.slicer.org/>.
99. Andy Bunn, M. K. A language and environment for statistical computing. *R Found. Stat. Comput.* **10**, 11–18 (2017).
100. Lakshmappa, A., Guledgud, M. V. & Patil, K. Eruption times and patterns of permanent teeth in school children of India. *Indian J. Dent. Res.* **22**, 755–763 (2011).
101. April, M., Zinreich, S. & Baroody, F. Coronal CT scan abnormalities in children with chronic sinusitis. (1993).
102. Rennie, C. O., Haffajee, M. R. & Satyapal, K. S. Development of the paranasal air sinuses in a South African Population utilising three dimensional (3D) reconstructed models. *Eur. J. Anat.* **21**, 197–209 (2017).
103. Jamroz, G. M. B., Kuijpers-Jagtman, A. M., Van't Hof, M. A. & Katsaros, C. Dental maturation in short and long facial types: Is there a difference? *Angle Orthod.* **76**, 768–772 (2006).
104. Hägg, U. & Matsson, L. Dental maturity as an indicator of chronological age: The accuracy and precision of three methods. *Eur. J. Orthod.* **7**, 25–34 (1985).
105. Shuttleworth, F. K. The Physical and Mental Growth of Girls and Boys Age Six to Nineteen in Relation to Age at Maximum Growth. *Monogr. Soc. Res. Child Dev.* **4**, i (1939).
106. Demirjian, A. & Levesque, G. Sexual Differences in Dental Development and. *J. Dent. Res.* 1110–1122 (1980).
107. Gaudy, J.-F. *et al.* *Os maxillaire: morphologie et sinus maxillaire. Atlas D'anatomie Implantaire* (Elsevier Masson SAS., 2011). doi:10.1016/b978-2-294-71379-8.00001-9.
108. Maspero, C. *et al.* Three-dimensional evaluation of maxillary sinus changes in growing subjects: a retrospective cross-sectional study. *Materials (Basel)*. **13**, (2020).
109. Spaeth, J., Krügelstein, U. & Schlöndorff, G. The paranasal sinuses in CT-imaging: Development from birth to age 25. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* **39**, 25–40 (1997).
110. BJORK, A. & HELM, S. Prediction of the age of maximum puberal growth in body height. (1967).
111. Eveleth, P. & Tanner, J. Worldwide Variation In Human Growth. *XF2006174458* (1990) doi:10.1017/CBO9780511629105.
112. Krailassiri, S., Anuwongnukroh, N. & Dechkunakorn, S. Relationships between Dental Calcification Stages and Skeletal Maturity Indicators in Thai Individuals. *Angle Orthod.* **72**, 155–166 (2002).
113. SIERRA, A. Assessment of dental and skeletal maturity : a new approach. (1987).

114. Jun, B. C. *et al.* The analysis of maxillary sinus aeration according to aging process; volume assessment by 3-dimensional reconstruction by high-resolucional CT scanning. *Otolaryngol. - Head Neck Surg.* **132**, 429–434 (2005).
115. Barghouth, G. *et al.* Paranasal sinuses in children: Size evaluation of maxillary, sphenoid, and frontal sinuses by magnetic resonance imaging and proposal of volume index percentile curves. *Eur. Radiol.* **12**, 1451–1458 (2002).
116. Emirzeoglu, M., Sahin, B., Bilgic, S., Celebi, M. & Uzun, A. Volumetric evaluation of the paranasal sinuses in normal subjects using computer tomography images: A stereological study. *Auris Nasus Larynx* **34**, 191–195 (2007).
117. Apuhan, T., Yildirim, Y. S. & Özaslan, H. The developmental relation between adenoid tissue and paranasal sinus volumes in 3-dimensional computed tomography assessment. *Otolaryngol. - Head Neck Surg.* **144**, 964–971 (2011).
118. Deİermenci, M., Ertekin, T., Ülger, H., Acer, N. & Coşkun, A. The age-related development of maxillary sinus in children. *J. Craniofac. Surg.* **27**, e38–e44 (2016).
119. Sonone, J., Nagpure, P. S., Puttewar, M. & Garg, D. Changes in Maxillary Sinus Volume and It's Walls Thickness Due to Chronic Rhinosinusitis: A Prospective Study. *Indian J. Otolaryngol. Head Neck Surg.* **71**, 2182–2185 (2019).
120. Cho, S. H. *et al.* Factors for maxillary sinus volume and craniofacial anatomical features in adults with chronic rhinosinusitis. *Arch. Otolaryngol. - Head Neck Surg.* **136**, 610–615 (2010).
121. Kim, H. Y. *et al.* Changes of maxillary sinus volume and bony thickness of the paranasal sinuses in longstanding pediatric chronic rhinosinusitis. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* **72**, 103–108 (2008).
122. Liu, S. S. Y. & Buschang, P. H. How does tooth eruption relate to vertical mandibular growth displacement? *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **139**, 745–751 (2011).
123. Sharma, S. K., Jehan, M. & Kumar, A. Measurements of maxillary sinus volume and dimensions by computed tomography scan for gender determination. *J. Anat. Soc. India* **63**, 36–42 (2014).
124. Koppe, T. & Nagai, H. Growth pattern of the maxillary sinus in the Japanese macaque (*Macaca fuscata*): Reflections on the structural role of the paranasal sinuses. *J. Anat.* **190**, 533–544 (1997).
125. Koppe, T., Swindler, D. R. & Lee, S. H. A longitudinal study of the growth pattern of the maxillary sinus in the pig-tailed macaque (*Macaca nemestrina*). *Folia Primatol.* **70**, 301–312 (1999).
126. Kawarai, Y. *et al.* Volume quantification of healthy paranasal cavity by three-dimensional CT imaging. *Acta Oto-Laryngologica, Suppl.* 45–49 (1999)
doi:10.1080/00016489950181198.
127. Park, C., Kim, K. & Kim, C. Measurement of maxillary sinus volume using computed tomography. *Korean J. Oral Maxillofac. Radiol* vol. 30 63–70 (2000).

128. Sahlstrand-Johnson, P., Jannert, M., Strömbeck, A. & Abul-Kasim, K. Computed tomography measurements of different dimensions of maxillary and frontal sinuses. *BMC Med. Imaging* **11**, (2011).

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : schéma du sinus maxillaire en coupe sagittale (Netter ⁴)	9
Figure 2 : vue antérieure des os de la face et du crâne (Netter ⁴).....	12
Figure 3 : vue antéro-latérale droite d'un crâne éclaté (Medicine Key ³¹)	12
Figure 4 : vue latérale du maxillaire (Adnot ³²)	13
Figure 5 : face nasale du maxillaire droit (Kamina ³³).....	13
Figure 6 : os zygomatique en vue latérale et médiale ³⁴	14
Figure 7 : vue postéro-médiale de l'os palatin ³⁵	14
Figure 8 : vue latérale de l'os lacrymal droit (Berichard ³⁶)	15
Figure 9 : vue dorsale des os nasaux (IMAIOS ³⁷)	15
Figure 10 : vue latérale du cornet nasal inférieur droit ³⁸	15
Figure 11 : vue latérale et dorsale du vomer (Asklepios Medical Atlas ³⁹).....	16
Figure 12 : vue antérieure et latérale de la mandibule (Dr Duprès ⁴⁰).....	16
Figure 13 : nomenclature des dents ⁵⁶	18
Figure 14 : stades de formation dentaire ⁶⁰	19
Figure 15 : modified Moorrees' stages (Moorrees et al., 1963ab) used to identify tooth developmental stages of single rooted and multirooted teeth. PDL refers to "periodontal ligament space" ⁵⁹	21
Figure 16 : Description and illustration reveal the eruption of permanent teeth by using Bengston's stages modified by AlQahtani et al. ⁵⁸	22
Figure 17 : Détermination de l'âge à partir de méthodes dentaires. (D. Maret-Comtesse, 2010 ⁶²).....	23
Figure 18 : Development of the human dentition (Schour L, Massler M, 1941) ⁶³	23
Figure 19 : Atlas of Human Tooth Development and Eruption (S. J. AlQahtani, 2010) ⁵⁹	24
Figure 20 : stades de maturité dentaire selon le type de dents définitives, d'après Demirjian et al., traduit par Pelczar ^{65,66}	25
Figure 21 : Radiograph and line drawings of crown and root stages showing deciduous molar, canine, and incisor ⁶⁶	25
Figure 22 : photographies et schémas des différents stades radiographiques de maturité, par type de dents définitives ⁶⁷	26
Figure 23 : reconstruction des coupes avec le logiciel 3D Slicer	30
Figure 24 : sélection semi-automatique des sinus avec 3D Slicer	30
Figure 25 : segmentation semi-automatique des sinus avec 3D Slicer	31
Figure 26 : segmentation 3D des sinus (vue antérieure) Figure 27 : segmentation 3D des sinus (vue latérale)	31
Figure 28 : distribution des âges civils de l'échantillon	33
Figure 29 : distribution des âges dentaires de l'échantillon.....	33
Figure 30 : droite de corrélation entre l'âge dentaire et l'âge civil	36
Figure 31 : droites de régression des volumes moyens en fonction de l'âge dentaire chez les filles et les garçons	40
Figure 32 : courbes de régression des volumes moyens en fonction de l'âge dentaire selon le sexe.....	40
Figure 33 : box plots des volumes moyens en fonction de l'âge dentaire selon trois tranches d'âges chez les filles et les garçons.....	41
Figure 34 : droites de régression des volumes moyens en fonction de l'âge civil chez les filles et les garçons.....	42

Figure 36 : droite de régression du volume sinusal droit en fonction de la longueur	44
Figure 37 : droite de régression du volume sinusal droit en fonction de la largeur	44
Figure 38 : droite de régression du volume sinusal droit en fonction de la hauteur	44
Figure 39 : droite de régression du volume sinusal gauche en fonction de la longueur	45
Figure 40 : droite de régression du volume sinusal gauche en fonction de la largeur	45
Figure 41 : droite de régression du volume sinusal gauche en fonction de la hauteur.....	45

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : données démographiques de l'échantillon	35
Tableau 2 : répartition des âges dentaires en fonction des âges civils chez les garçons.....	37
Tableau 3 : répartition des âges dentaires en fonction des âges civils chez les filles.....	38

CROISSANCE DU SINUS MAXILLAIRE : ETUDE DE LA CORRELATION DU VOLUME A L'AGE DENTAIRE

L'étude de l'anatomie du développement du sinus maxillaire est primordiale pour de nombreux cliniciens tant sur le plan diagnostique que thérapeutiques. Cet intérêt s'étend à d'autres spécialités comme l'anthropologie, la primatologie ou la paléontologie. Notre objectif était d'évaluer l'évolution du sinus maxillaire au cours de la croissance en fonction de l'éruption dentaire.

Nous avons examiné rétrospectivement des scanners d'individus âgés de 0 à 13 ans et inclus 123 sujets. Une segmentation 3D manuelle et une estimation de l'âge dentaire de chaque individu ont été réalisées.

Les âges dentaires moyens étaient de 7,61 ans pour les filles et 6,78 ans pour les garçons et les volumes moyens des sinus de 6,53 cm³ pour les filles et 6,03 cm³ pour les garçons. Il était retrouvé une corrélation forte entre le volume moyen des sinus et l'âge dentaire et entre le volume moyen et la hauteur, avec des phases d'accélération de la croissance suggérant un développement vertical du sinus conjointement à l'émergence des germes dentaires.

Ces résultats contribuent à l'étude de la croissance des sinus maxillaires chez les enfants en bonne santé et dépeignent son lien avec la croissance des dents.

GROWTH OF THE MAXILLARY SINUS : STUDY OF THE CORRELATION BETWEEN VOLUME AND DENTAL AGE

The study of the developmental anatomy of the maxillary sinus is of primary interest to many clinicians for both diagnostic and therapeutic purposes. This interest extends to other specialties such as anthropology, primatology or paleontology. Our objective was to evaluate the evolution of the maxillary sinus during growth in relation to tooth eruption.

We retrospectively reviewed scans of individuals aged 0-13 years and included 123 subjects. Manual 3D segmentation and dental age estimation of each individual were performed.

The mean dental ages were 7.61 years for girls and 6.78 years for boys and the mean sinus volumes were 6.53 cm³ for girls and 6.03 cm³ for boys. There was a strong correlation between mean sinus volume and dental age and between mean volume and height, with phases of accelerated growth suggesting vertical development of the sinus in conjunction with the emergence of dental germs.

These results contribute to the study of maxillary sinus growth in healthy children and depict its relationship to tooth growth

Discipline administrative : Médecine spécialisée clinique

Mots-clés : sinus maxillaire, développement, croissance, âge dentaire, volume sinusal, scanner des sinus, segmentation

Keywords: maxillary sinus, development, growth, dental age, sinus volume, sinus scan, segmentation

Université Toulouse III-Paul Sabatier
Faculté de médecine Toulouse-Purpan,
37 Allées Jules Guesde 31000 Toulouse

Directeur de thèse : Pr Frédéric SAVALL