

UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2023

N° :

THÈSE POUR LE
DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 19 décembre 2023

Par Maurine GARCIA

Née le 27 juin 1997 à Avignon – France

ÉVALUATION DE L'ASYMÉTRIE DE VOLUME DES SINUS
MAXILLAIRES SUR UN ÉCHANTILLON DE 30 ENFANTS ET
ADOLESCENTS

JURY

Président :	Mr le Professeur Thomas COLARD
Assesseurs :	Mme le Docteur Amélie de BROUCKER Mme le Docteur Mathilde SAVIGNAT
Directeur :	Mme le Docteur Pauline BOUCHER

Président de l'Université	:	Pr. R. BORDET
Directrice Générale des Services de l'Université	:	M-D. SAVINA
Doyen UFR3S	:	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S	:	G. PIERSON
Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S	:	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services	:	N. RICHARD
Responsable de la Scolarité	:	G. DUPONT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

K. AGOSSA	Parodontologie
P. BOITELLE	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE	Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S Odontologie Pédiatrique
E. DEVEAUX	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES :

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. BEDEZ	Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Épidémiologie, Économie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUDEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
C. DENIS	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin – CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Responsable du Département d'Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses
R. WAKAM KOUAM	Prothèses

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Section Réhabilitation Orale

*Département Fonction/Dysfonction, **Imagerie** et Biomatériaux*

Docteur en Chirurgie Dentaire (Université de Lille)

Docteur du Muséum National d'Histoire Naturelle en Anthropologie Biologique (MNHN, Paris)

Habilitation à Diriger des Recherches (Université de Lille)

Master 1 - Biologie-Santé (Université de Lille)

Master 2 - Evolution Humaine (MNHN, Paris)

DIU Orthopédie Dento-Cranio-Maxillo-Faciale (Sorbonne Université, Paris)

Chargé de mission Recherche

Vous me faites l'honneur et le privilège de présider cette thèse.

Je vous remercie pour la bienveillance, la gentillesse, l'écoute et toute l'aide que vous m'avez apportée tout au long de mon internat, et particulièrement pendant cette dernière année.

Vous avez su me transmettre vos connaissances avec passion sans jamais juger mes questionnements et je vous en remercie infiniment.

Je suis heureuse et fière d'avoir pu travailler avec vous.

Je vous prie de bien vouloir trouver dans ce travail l'expression de mon plus grand respect et de ma sincère gratitude.

Madame le Docteur Amélie de BROUCKER

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université de Lille2

Chargé de mission Vie de campus et relations étudiants

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse et de juger celle-ci en votre qualité de rapporteur.

Votre intérêt pour ma recherche m'a touchée et je vous suis vivement reconnaissante pour votre présence en ce jour si spécial pour moi.

Veillez trouver ici l'assurance de mes sentiments les plus respectueux et de ma sincère reconnaissance.

Madame le Docteur Mathilde SAVIGNAT

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille2

Master Recherche Biologie Santé - Spécialité Physiopathologie et
Neurosciences

Responsable du Département des Sciences Anatomiques

Chargée de mission PASS – LAS

*Vous m'avez fait l'honneur d'accepter spontanément de siéger dans ce jury de
thèse et de contribuer à l'évaluation de mon travail et je vous en remercie
sincèrement.*

*Je vous suis reconnaissante pour le temps et l'attention que vous avez
consacré à la lecture de mon travail ainsi que pour votre présence pour cette
étape clé de mon parcours.*

*Veillez trouver ici le témoignage de mon profond respect et de ma plus grande
gratitude.*

Madame le Docteur Pauline BOUCHER

Chef de Clinique des Universités – Assistant Hospitalier des CSERD

Section Développement, Croissance et Prévention

Département Orthopédie Dento-Faciale

Docteur en Chirurgie Dentaire

Spécialiste qualifiée en Orthopédie Dento-Faciale

Je te remercie chaleureusement d'avoir accepté la direction de cette thèse ainsi que de la confiance que tu m'as accordée pour la réalisation de ce travail.

Tu m'auras accompagnée et transmis tes connaissances du début de mon internat jusqu'à la fin de mes études et j'en suis extrêmement honorée.

Je ne saurai jamais assez te remercier pour ta gentillesse, ta sincérité, ta patience au fauteuil, et ta disponibilité au cours de mon internat.

Ta bienveillance et ta loyauté sans failles envers nous, les internes ODF, m'a beaucoup touchée pendant ces trois années.

Je suis heureuse d'avoir croisé ta route,

Sois assurée de mon profond respect et de mes remerciements les plus sincères.

Table des matières

1. Introduction	11
1.1 Rappels d'anatomie descriptive des sinus maxillaires	12
<i>Les différentes faces</i>	<i>12</i>
<i>L'ostium</i>	<i>13</i>
<i>Les principales variantes anatomiques</i>	<i>14</i>
<i>Les dimensions</i>	<i>15</i>
<i>Quelle(s) fonction(s) pour les sinus maxillaires ?</i>	<i>15</i>
1.2 Développement et croissance.....	16
1.3 Objectifs de cette étude	18
2. Matériels et Méthodes.....	19
2.1 Base de données.....	19
2.2 Échantillon de l'étude principale (n=230).....	20
2.2.1 Critères d'inclusion.....	20
2.2.2 Critère de non-inclusion	20
2.2.3 Critères d'exclusion.....	20
2.3 Sous-échantillon pour l'analyse de l'asymétrie (n=30).....	21
2.3.1 Critères d'inclusion secondaires	21
2.3.2 Critères d'exclusion secondaires	21
2.4 Recueil des CT scans	21
2.5 Acquisition des données	22
2.5.1 Logiciel utilisé.....	22
2.5.2 Protocole de segmentation du sinus maxillaire.....	22
2.6 Analyses statistiques.....	25
3. Résultats	26
3.1 Analyse descriptive univariée de l'ensemble de l'échantillon (n=230)	26
3.2 Étude du lien entre l'âge et le volume du sinus maxillaire (n=230)	27
3.3 Analyse descriptive univariée du sous-échantillon (n=30)	30
3.4 Analyse de l'asymétrie sur l'ensemble du sous-échantillon (n=30).....	30
3.5 Analyse de l'asymétrie dans le groupe 0 à 2 ans	31
3.6 Analyse de l'asymétrie dans le groupe 12 à 14 ans	31
3.7 Dimorphisme sexuel	32
4 Discussion	34
4.1 Matériels et Méthodes	34
4.1.1 Base de données et population étudiée.....	34
4.1.2 Protocole de l'étude	35
4.2 Résultats de l'étude de la variation intra-individuelle	36
5 Conclusion.....	39
Table des figures	40
Table des tableaux.....	42
Bibliographie.....	43

1. Introduction

Les sinus maxillaires sont deux cavités aériques qui se situent au centre du massif facial supérieur. Occupant la majeure partie des os maxillaires, leur développement est sous la dépendance des remaniements liés à la croissance crânio-faciale. Ils font également partie intégrante des voies aériennes et sont par conséquent à la frontière de nombreuses disciplines médicales telles que l'imagerie médicale, l'oto-rhino-laryngologie, la chirurgie maxillo-faciale ou encore l'odontologie.

La région naso-sinusienne est le siège de variations anatomiques fréquentes et diverses, physiologiques ou pathologiques, pouvant avoir des répercussions sur la croissance et le développement des sinus maxillaires (1,2). Ces cavités osseuses, essentielles à la physiologie respiratoire, présentent un certain degré de variation anatomique qui peut se traduire par des différences de taille, de forme, de position ou de rapports avec les structures adjacentes.

L'étude de leur degré d'asymétrie présente donc une importance, non seulement pour son implication dans le diagnostic des pathologies associées aux sinus (infections, pathologies inflammatoires ou malformations congénitales) mais aussi pour son rôle dans la planification d'un traitement chirurgical (greffe osseuse, pose implantaire, traitement de fractures faciales etc.). L'exploration des asymétries sinusiennes est également intéressante du point de vue orthodontique car elles peuvent être un marqueur de déséquilibre de la croissance crânio-faciale (3,4). Aussi, une asymétrie de taille des sinus maxillaires peut influencer le déplacement dentaire et le choix des techniques orthodontiques. En effet, les mouvements dentaires intra-sinusiens sont complexes et par conséquent, peu prédictibles (5).

Ainsi, mieux comprendre l'asymétrie des sinus maxillaires permettra d'accroître nos connaissances sur l'anatomie crânio-faciale et ses variations physiologiques. D'ailleurs, l'étude des variations anatomiques des sinus maxillaires et plus largement de la région naso-sinusienne est un sujet récurrent dans la littérature ; la plupart des études retrouvées se concentrent néanmoins sur des patients symptomatiques et/ou en fin de croissance (2,6–9).

1.1 Rappels d'anatomie descriptive des sinus maxillaires

Les sinus maxillaires, ou paranasaux, se trouvent de part et d'autre des fosses nasales. Il s'agit de 4 paires de cavités recouvertes de muqueuse de type respiratoire et reliées à la cavité nasale par des canaux, ou par de simples orifices appelés *ostia*.

Ces 4 paires de cavités sont : les sinus frontaux, sphénoïdaux, ethmoïdaux, et les sinus maxillaires, ces derniers étant les plus volumineux d'entre eux (Figure 1).

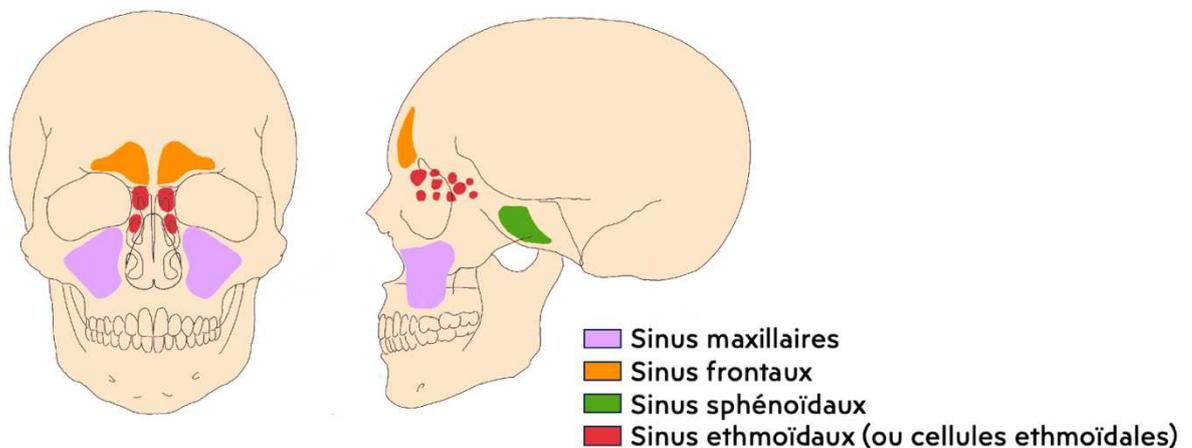


Figure 1 : Représentation schématique des sinus paranasaux : vue antérieure et latérale gauche (iconographie personnelle).

Les différentes faces

À l'âge adulte, les sinus maxillaires peuvent être décrits comme des pyramides à trois faces (10–12) :

- Le sommet est latéral et s'étend dans le processus zygomatique du maxillaire.
- La base est médiale, elle correspond à la paroi latérale de la cavité nasale. Celle-ci présente le canal ostial qui fait communiquer le sinus maxillaire avec la cavité nasale.

- La face supérieure, ou toit du sinus, est formée par la paroi inférieure de l'orbite. Elle est située en arrière du rebord orbitaire, est orientée obliquement vers le haut vers l'arrière et vers l'intérieur. Elle est creusée du canal infra-orbitaire.
- La face postéro-latérale répond aux fosses infra temporale et ptérygo-palatine.
- La face antéro-latérale (jugale) comporte deux zones solides (bosse canine et zygomatique) et une zone fragile (fosse canine). Elle est en rapport dans sa partie inférieure avec les racines des dents postérieures maxillaires, qui peuvent la perforer (on parle alors de racines antrales).
- De par son importance clinique, le plancher sinusien est parfois considéré comme une 4^{ème} face de la pyramide, mais il n'est en réalité qu'une fosse formée par la jonction des faces antéro-latérale et médiale (13).

L'ostium

L'ostium correspond à l'ouverture du sinus maxillaire et se situe près de la partie supérieure de la base du sinus, au niveau de la gouttière uncibulaire (qui creuse un sillon dans la paroi latérale du méat nasal moyen entre la bulle ethmoïdale et le processus unciné de l'ethmoïde) (Figure 2).

L'ostium est, à l'état normal, la seule voie de communication entre la fosse nasale et la cavité sinusienne. Il est également la zone de transition entre la muqueuse nasale et sinusienne. Celles-ci sont en continuité et se ressemblent par la présence de cellules ciliées, mais la muqueuse du sinus maxillaire se distingue par la synthétisation spontanée et continue de monoxyde d'azote (NO) (14,15).

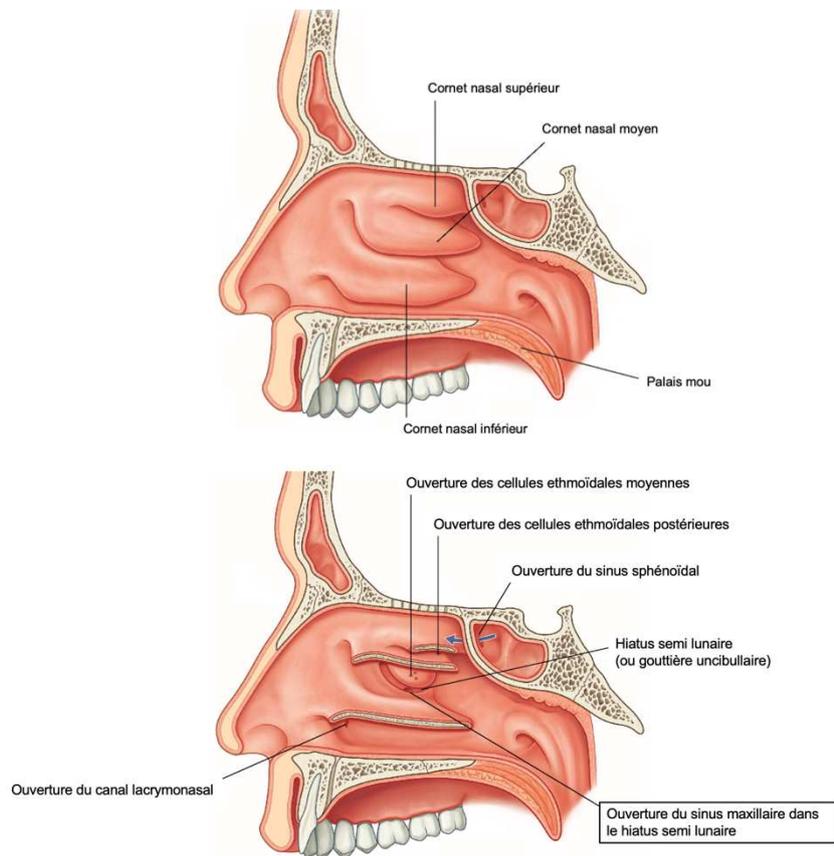


Figure 2 : Vue médiale de la paroi latérale nasale gauche avec les cornets intègres (en haut) et les cornets réséqués (en bas) (16).

Les principales variantes anatomiques

Il existe des variantes anatomiques telles que des septums intra sinusiens ou un ostium surnuméraire, mais les sinus maxillaires sont dans l'ensemble des formations stables, assez régulières, sans asymétrie significative (contrairement aux sinus frontaux). Plusieurs études ont d'ailleurs démontré une différence non significative entre les sinus droit et gauche. Il peut exister des asymétries, l'anatomie des cavités sinusienne est complexe avec une grande variabilité intra et inter individuelle, mais si elles existent celles-ci sont non significatives (13,17–22).

Des *hypopneumatizations* ou *hyperpneumatizations* non pathologiques peuvent également être retrouvées. En cas d'*hyperpneumatization*, les racines des molaires (plus ou moins celles des prémolaires et des canines) forment des élévations du plancher sinusien qui peuvent amener ces mêmes racines à n'être séparées de la cavité sinusienne que par la muqueuse (racines antrales).

Les dimensions

Les dimensions et volumes des sinus maxillaires sont variables en fonction du degré de pneumatisation. Le volume moyen d'un sinus adulte est de 12 cm³ mais il montre une grande variabilité biologique, comprise entre 5 et 20 cm³. Les dimensions moyennes adultes sont de 40 mm dans le sens vertical, 26 mm dans le sens antéro-postérieur et 39 mm dans le sens transversal (23).

Chez le sujet en cours de croissance, il existe une variabilité des valeurs volumétriques retrouvées dans la littérature en fonction des classes d'âge. On retrouve des valeurs allant de 0,10 cm³ à 0,8 cm³ pour des patients de moins d'un an, et des valeurs entre 4,8 cm³ et 7,55 cm³ pour des patients de 6 ans. Pour des patients de 12 ans, des volumes entre 11,09 cm³ et 15,31 cm³ sont retrouvés. À cet âge, le sinus s'approche de ses dimensions adultes (20,24,25).

Quelle(s) fonction(s) pour les sinus maxillaires ?

La ou les fonction(s) des sinus maxillaires, et plus généralement des cavités aériques, restent encore à l'état d'hypothèses à ce jour. Plusieurs propositions font néanmoins consensus (14,26–28) :

- Conditionnement de l'air inspiré (réchauffement et humidification) via la production de NO
- Régulation de la pression intranasale
- Protection des organes vis-à-vis de l'environnement extérieur (régulation thermique cérébrale et orbitaire)
- Diminution de la masse crânienne
- Caisses de résonance dans l'activité phonatoire
- Plans de glissement des tables osseuses internes et externes lors de la croissance crânio-faciale
- Amortisseurs des forces masticatoires
- Cavités vestigiales sans réelle fonction physiologique

1.2 Développement et croissance

La *pneumatisation osseuse* est aujourd'hui la théorie de formation des sinus maxillaires qui fait consensus dans la littérature. En effet, les sinus ne vont pas se former par colonisation à partir d'une muqueuse ethmoïdale ou nasale, mais par remplacement du tissu osseux en tissu graisseux, puis en cavité aérienne dont le gaz s'échappe vers les fosses nasales par le canal ostial. La formation de la muqueuse se fait quant à elle *in situ* (14,29).

Au cours du développement embryonnaire, le processus alvéolaire maxillaire est situé à proximité de l'orbite, il contient à ce moment les ébauches des dents. L'espace disponible pour la formation du sinus maxillaire est alors très réduit.

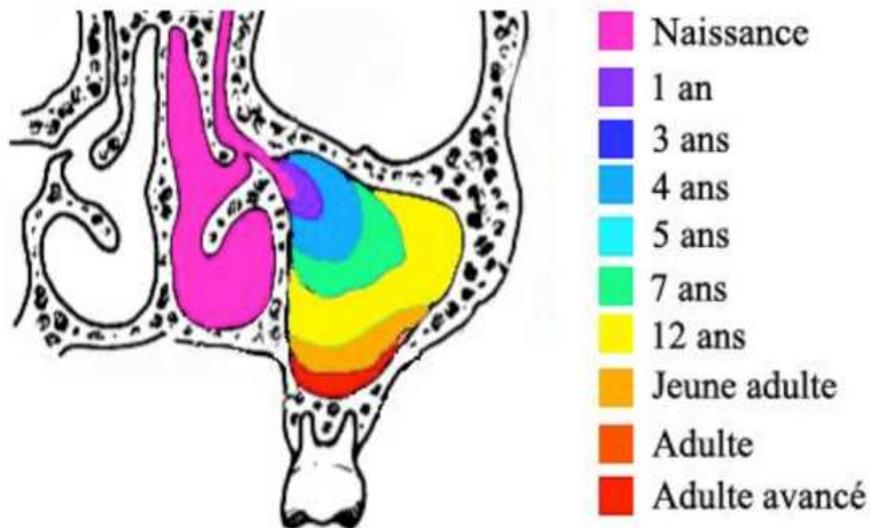


Figure 3 : Développement des sinus maxillaires de la naissance à l'âge adulte (30).

À la naissance, le sinus maxillaire est situé en position médiale par rapport à l'orbite, il arrive au niveau du plancher orbitaire à la fin de la première année et va dépasser le canal infra-orbitaire à l'âge de 4 ans. La forme pyramidale est observée pour la première fois vers 6 ans, et l'extension du sinus maxillaire vers la paroi latérale de l'os maxillaire ainsi que le palais dur sont visibles aux alentours de 9 ans (Figure 3).

Le développement du sinus maxillaire étant parallèle à celui de l'os maxillaire et des dents ; il va progressivement occuper le volume osseux libéré par l'éruption des dents temporaires, puis des dents permanentes, et continuer à s'étendre vers le bas jusqu'à l'éruption des dernières dents (Figure 4).

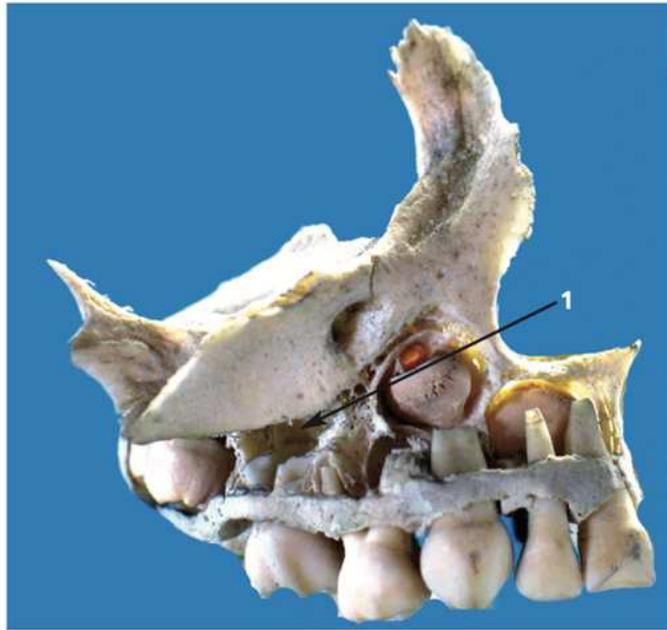


Figure 4 : Vue latérale droite d'un maxillaire d'un enfant de 24 mois. L'éruption de la dent 55 a libéré de la place dans le secteur prémolaire (Flèche 1 : sinus maxillaire droit) (31).

La hauteur définitive du plancher sinusien est très variable en fonction des individus et des conditions dentaires mais se situe généralement 4-5 mm en dessous du plancher des fosses nasales (10,28,30,31). Selon plusieurs auteurs, le sinus maxillaire croît activement jusqu'à 12 ans, avec une période de croissance active dans les 3 premières années de vie puis une deuxième de 6 à 12 ans (13,32,33).

Enfin, l'âge auquel le sinus maxillaire atteint sa taille maximale diffère en fonction des auteurs mais se situe globalement pendant l'adolescence, entre 14 et 20 ans (17,18,31,34).

1.3 Objectifs de cette étude

Cette étude est le prolongement d'un travail de recherche entamé dans le cadre d'un mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Études Spécialisées en Orthopédie Dento-Faciale (Garcia, 2023) (35). L'objectif de ce mémoire était d'analyser la courbe de croissance du sinus maxillaire entre la naissance et l'adolescence, sur une population de 230 sujets.

Au cours de ce travail de thèse, nous allons présenter une synthèse des résultats concernant l'évolution du volume du sinus maxillaire sur les 230 sujets. Puis, dans un second temps, nous analyserons la variation intra-individuelle de volume entre les côtés droit et gauche, sur un sous-échantillon de 30 sujets répartis dans six classes d'âge. L'aspect très chronophage de la segmentation des cavités sinusiennes, et la nécessité d'avoir les deux côtés disponibles (i.e. répondant aux critères d'inclusion/exclusion) expliquent pourquoi ce sous-échantillon est réduit comparé à notre échantillon global.

L'objectif principal de ce travail est donc d'évaluer l'asymétrie de volume des sinus maxillaires chez des individus sains en cours de croissance. Les objectifs secondaires sont d'évaluer l'asymétrie de volume dans deux groupes d'âges distincts, de 0 à 2 ans et de 12 à 14 ans, ainsi que d'étudier l'impact du dimorphisme sexuel.

2. Matériels et Méthodes

2.1 Base de données

L'ensemble des CTscans utilisés pour cette étude proviennent de la base de données *New Mexico Decedent Image Database* (NMDID) (36). Cette base de données répertorie des CT scans d'individus autopsiés par les services médicaux-légaux de l'Université du Nouveau-Mexique (UNM) et comprend de nombreuses données biologiques sur chacun d'entre eux (âge, sexe, origine géographique, pathologies, groupe sanguin, etc...).

La NMDID est gérée par le "Regents of the University of New Mexico", et notamment par le « College of Arts and Sciences, Department of Anthropology ». Elle a été fondée en partie par l'OMI (Office of the Medical Investigator), un programme au sein du Département de Pathologie de l'école de médecine de l'UNM, qui a reçu en 2010 une subvention pour financer la réalisation systématique d'examens tomodensitométriques dans les expertises de décès liés à des blessures contondantes, à des blessures par arme à feu, à une intoxication par la drogue ou encore à un traumatisme infantile. Les résultats ont montré qu'en combinant l'autopsie et la tomodensitométrie les médecins ont pu découvrir 20% de blessures supplémentaires par rapport à l'utilisation isolée de chaque méthode. Cette efficacité a conduit à l'intégration de la numérisation du corps entier dans les enquêtes menées par l'OMI sur les décès.

Finalement, le National Institute of Justice (NIJ) a financé le développement et la mise à disposition de cette base de données, permettant ainsi aux chercheurs d'y accéder gratuitement, à condition de présenter un projet de recherche validé par une commission scientifique de l'Université.

2.2 Échantillon de l'étude principale (n=230)

2.2.1 Critères d'inclusion

Le critère d'inclusion principal était l'âge : les sujets devaient avoir entre 0 et 14 ans inclus. Le second critère était que l'extrémité céphalique soit comprise dans leur examen scanographique.

2.2.2 Critère de non-inclusion

- Âge supérieur ou égal à 15 ans

2.2.3 Critères d'exclusion

- Sujets syndromiques, nés prématurés, ou souffrant de problèmes respiratoires.
- CT scan inexploitable du fait de la non-visibilité du sinus maxillaire droit ou de l'absence de définition de ses limites (Figure 5).

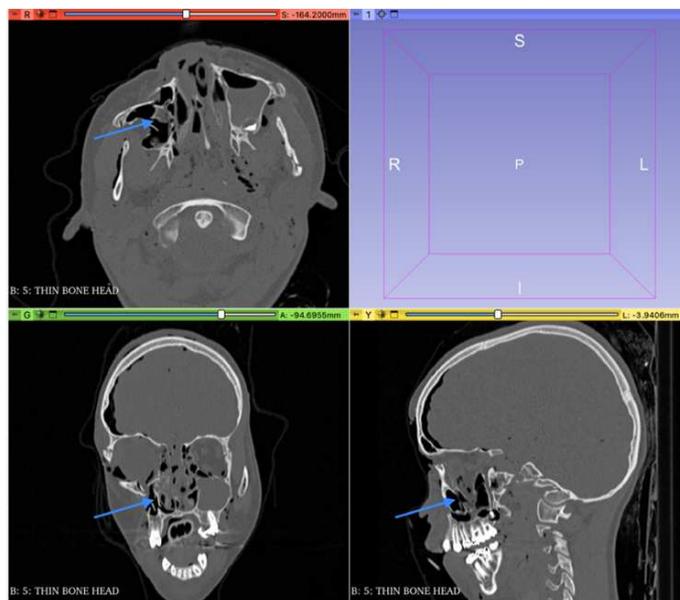


Figure 5 : CT scan d'un sujet de 14 ans : les parois du sinus maxillaire droit sont altérées (flèche bleue) (iconographie personnelle).

2.3 Sous-échantillon pour l'analyse de l'asymétrie (n=30)

2.3.1 Critères d'inclusion secondaires

La forte activité de croissance du sinus maxillaire au tout début de la vie, ainsi que lors du pic de croissance pré-pubertaire (après l'âge de 11 ans) nous a amené à sélectionner des individus âgés de 0 à 2 ans ainsi que de 12 à 14 ans pour cette étude.

2.3.2 Critères d'exclusion secondaires

Les critères d'exclusion secondaires étaient la non-visibilité d'un des deux sinus maxillaires ou une mauvaise définition de leurs limites rendant le CT scan inexploitable.

2.4 Recueil des CT scans

Chaque téléchargement depuis le site a nécessité une demande justifiant l'intérêt de l'imagerie à des fins de recherche sur le développement sinusien chez des individus en cours de croissance. 230 individus ont été inclus dans l'étude principale et 30 d'entre eux (14 filles et 16 garçons) ont été retenus pour étudier l'asymétrie sinusienne. 5 individus ont été inclus dans chacune des 6 classes d'âge d'un an, en respectant la parité (Tableau 1).

Tableau 1 : Tableau récapitulatif du nombre de sujets inclus dans l'étude pour chaque classe d'âge, ainsi que la répartition de filles et de garçons par classe d'âge.

Âge en années	0	1	2	12	13	14
Nombre de sujets inclus	5	5	5	5	5	5
Nombre de filles et de garçons	3♀ 2♂	2♀ 3♂	3♀ 2♂	1♀ 4♂	3♀ 2♂	2♀ 3♂

2.5 Acquisition des données

2.5.1 Logiciel utilisé

Les examens d'imagerie ont été observés par un examinateur principal en troisième année de Diplôme d'Études Spécialisées en Orthopédie-Dento-Faciale grâce au logiciel open source 3D Slicer® 5.2.2 (37).

2.5.2 Protocole de segmentation du sinus maxillaire

Pour chaque individu de l'étude principale (n=230), Le sinus droit a été segmenté. Pour ce travail de thèse (n=30), les sinus maxillaires droit et gauche ont été segmentés. Dans un premier temps, les fichiers DICOM étaient ouverts grâce au logiciel 3D Slicer® (Figure 6).

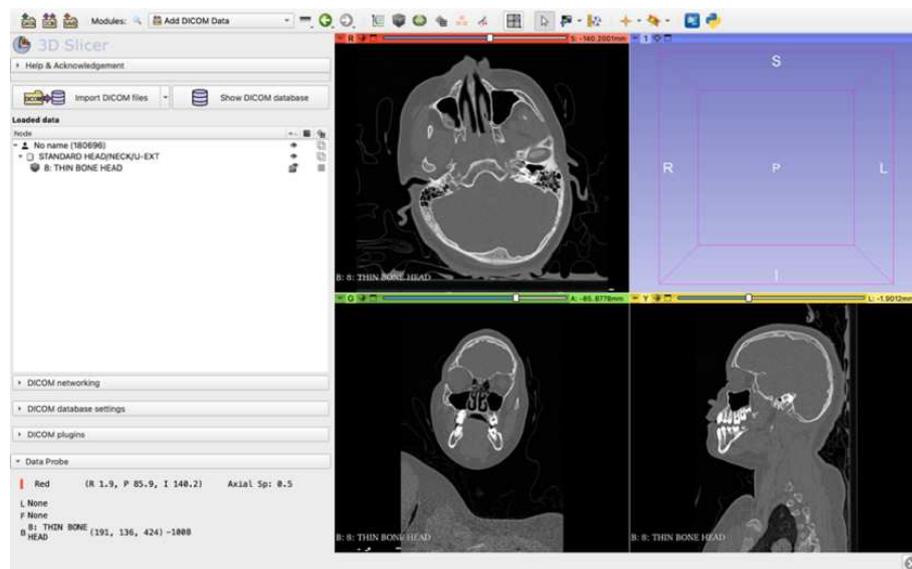


Figure 6 : Aspect d'un CT scan (fichier DICOM) ouvert dans 3D Slicer® (iconographie personnelle).

Les niveaux de gris correspondant à l'air (plus ou moins le mucus et/ou la muqueuse) contenu dans le sinus ont été sélectionnés grâce à l'outil « *Threshold* » (seuillage). Le choix du seuillage des niveaux de gris s'est fait au

cas par cas car certains sujets présentaient un ou deux sinus congestionnés (Figure 7).



Figure 7 : Vue axiale d'un sujet ayant les sinus maxillaires droit et gauche hétérogènes (iconographie personnelle).

La cavité sinusienne a ensuite été sélectionnée sur plusieurs coupes sagittales, coronales, et transversales. Les limites choisies étaient celles de la corticale osseuse périphérique, l'ostium n'étant pas inclus (Figure 8).

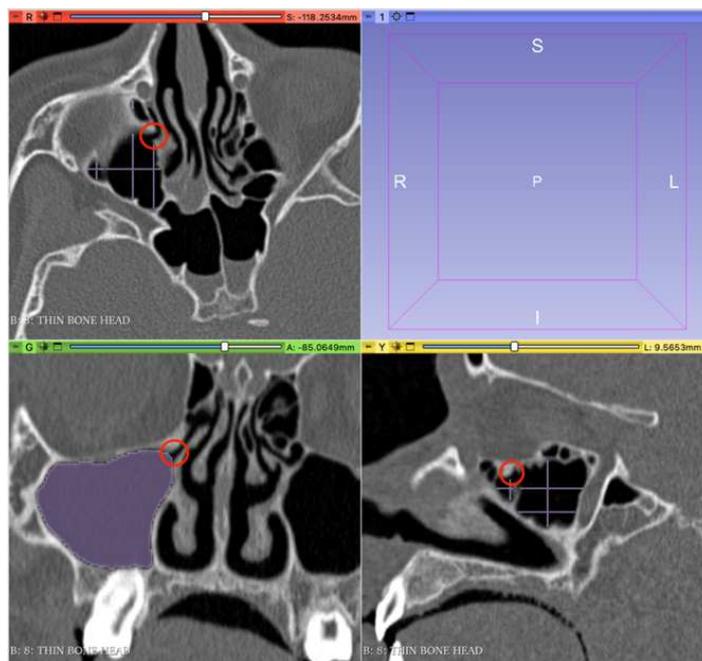


Figure 8 : Mise en évidence de l'ostium du sinus maxillaire droit (cercle rouge) (iconographie personnelle).

Pour généraliser la segmentation 2D en 3D l'outil « *Fill between slices* » a été utilisé. Pour finir, les limites ont été ajustées manuellement. Toutes les étapes de la segmentation sont résumées sur la Figure 9.

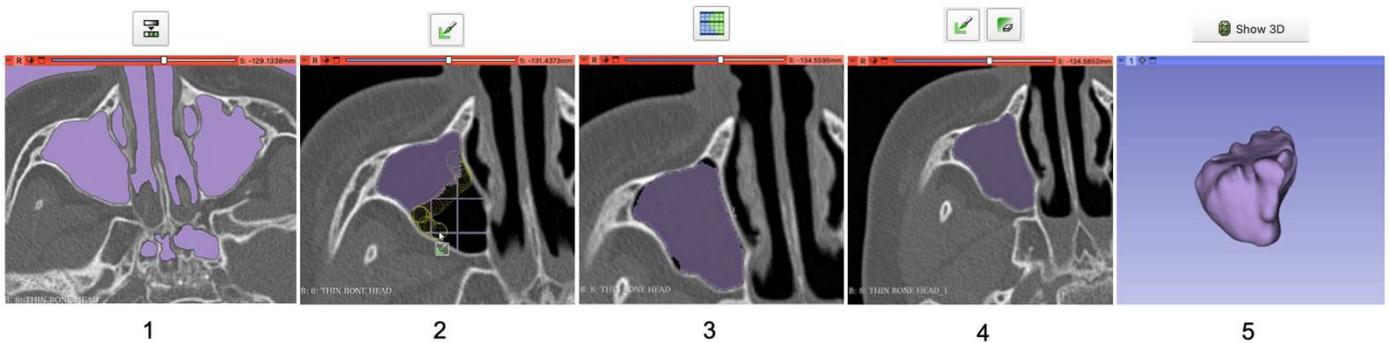


Figure 9 : Vue axiale des différentes étapes de la segmentation du sinus maxillaire 1 : Seuillage (Thresholding) ; 2 : Selection du sinus sur différentes coupes ; 3 : Remplissage entre les coupes (Fill between slices) ; 4 : Après réajustement des limites ; 5 : Modélisation 3D de la segmentation (vue antérieure) (iconographie personnelle)

Chaque segmentation a été sauvegardée au format .stl et l'outil « *Segment statistics* » a permis d'obtenir les informations de volume et de surface (Figure 10).

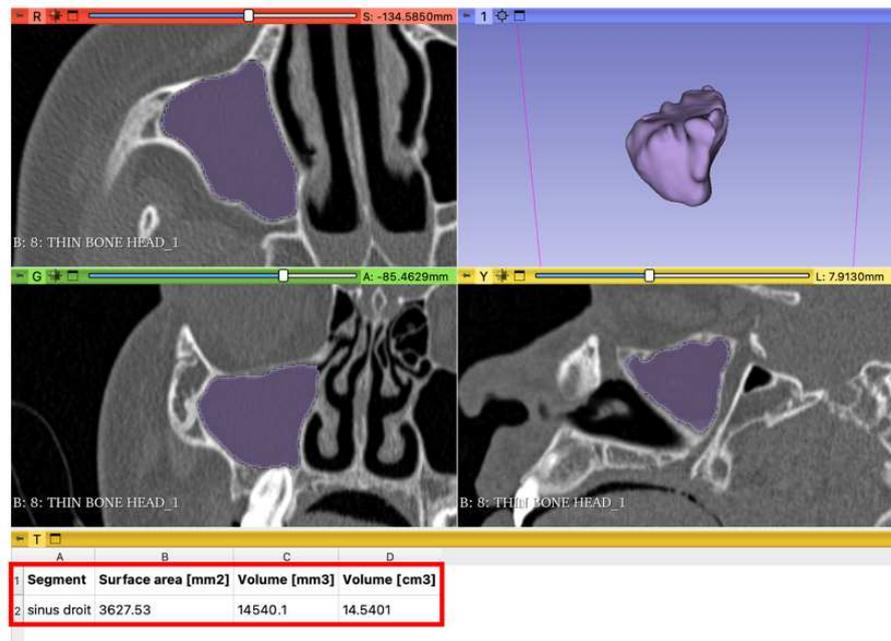


Figure 10 : Visualisation des mesures de volume et surface à l'aide de l'outil « *Segment statistics* » (rectangle rouge) (iconographie personnelle).

2.6 Analyses statistiques

La fiabilité et la répétabilité du protocole mis en place pour l'étude principale a été vérifiée par un test intra-observateur ICC. Les 15 premières segmentations ont été réalisées une deuxième fois par l'observateur principal deux mois plus tard. Les deux jeux de mesures ne montraient pas de différence significative ($p < 0,05$).

Toutes les statistiques descriptives ont été réalisées par classe d'âge et pour l'ensemble de l'échantillon. Les trajectoires de croissance ont été modélisées par des courbes de régression polynomiales, avec et sans transformation logarithmique. La distribution normale des variables de volume et de surface a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilck. L'asymétrie ainsi que le dimorphisme sexuel ont été analysés avec un test t de Student, le seuil de significativité étant fixé à 5%.

3. Résultats

3.1 Analyse descriptive univariée de l'ensemble de l'échantillon (n=230)

Les moyennes des volumes du sinus maxillaire droit par classe d'âge sont répertoriées dans le Tableau 2. Le sinus maxillaire mesure en moyenne $0,26 \pm 0,29 \text{ cm}^3$ de la naissance à un an. Le volume moyen quintuple entre la classe d'âge 0-1 an et 1-2 ans en passant à $1,25 \pm 0,55 \text{ cm}^3$. Il double ensuite pour atteindre $2,11 \pm 1,04 \text{ cm}^3$ dans la classe d'âge 2-3 ans. L'augmentation de la moyenne se stabilise après 4-5 ans pour atteindre progressivement $15,89 \pm 2,48 \text{ cm}^3$ de moyenne chez les individus de 14-15 ans.

Tableau 2 : Volumes moyens en cm^3 , déviation standard et valeurs minimales et maximales par classe d'âge (n=230).

Classe d'âge en années	Moyenne des volumes en $\text{cm}^3 \pm$ déviation standard	Minimum - Maximum
0-1	$0,26 \pm 0,29$	0,07 - 1,35
1-2	$1,25 \pm 0,55$	0,53 - 2,33
2-3	$2,11 \pm 1,04$	0,49 - 4,24
3-4	$3,56 \pm 1,12$	1,77 - 5,51
4-5	$4,79 \pm 1,46$	1,46 - 7,87
5-6	$5,61 \pm 1,93$	2,21 - 9,93
6-7	$6,42 \pm 1,34$	4,46 - 8,74
7-8	$7,85 \pm 1,66$	4,26 - 11,01
8-9	$8,48 \pm 2,19$	5,44 - 12,76
9-10	$9,33 \pm 2,25$	5,82 - 12,75
10-11	$10,91 \pm 2,89$	7,14 - 14,34
11-12	$13,02 \pm 2,74$	10,27 - 18,83
12-13	$13,04 \pm 2,64$	8,2 - 17,84
13-14	$14,35 \pm 3,03$	10,9 - 23,83
14-15	$15,89 \pm 2,48$	11,32 - 19,39

On note toutefois une grande amplitude entre les valeurs minimales et maximales, ce qui traduit une grande variabilité biologique, surtout dans les premières années de vie, où la déviation standard est élevée.

3.2 Étude du lien entre l'âge et le volume du sinus maxillaire (n=230)

Le calcul de la droite de régression linéaire (Figure 11) met en évidence un lien fort entre l'âge et le volume du sinus ($R^2=0,8673$). Logiquement, plus l'âge augmente, plus le volume augmente. On note néanmoins que la dispersion des valeurs autour de la droite est de plus en plus importante avec l'augmentation de l'âge (ce qui peut s'expliquer en partie par la résolution de l'axe Y qui tasse les valeurs basses des sujets les plus jeunes). L'étude des résidus confirme malgré cela une plus grande variabilité des sujets les plus âgés.

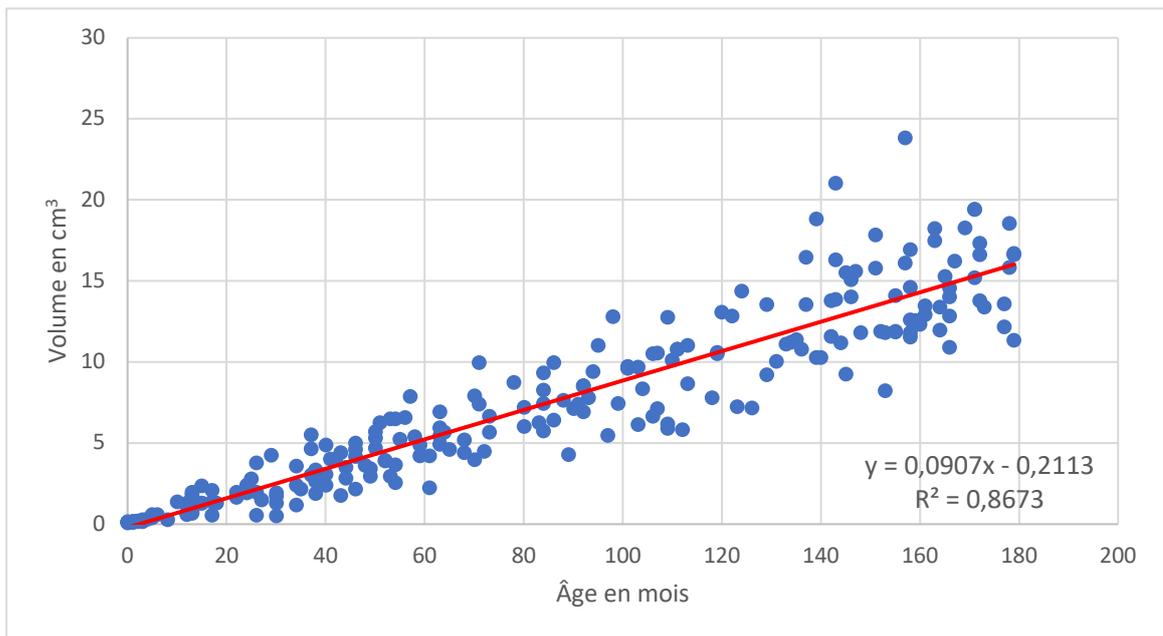


Figure 11 : Droite de régression linéaire mettant en évidence le lien entre l'âge en mois (en abscisse) et le volume du sinus maxillaire (en ordonnée).

Pour mettre en évidence les variations de cinétique de croissance du sinus maxillaire, nous avons effectué une transformation logarithmique (Figure 12). La courbe de régression polynomiale de degré 3 met en évidence trois phases distinctes. On remarque un taux de croissance élevé entre 0 et 60 mois, un taux plus faible suivi d'un plateau entre 60 et 140 mois, pour finir par un taux élevé après 150 mois. Ce modèle mathématique présente un R^2 élevé de 0,9075.

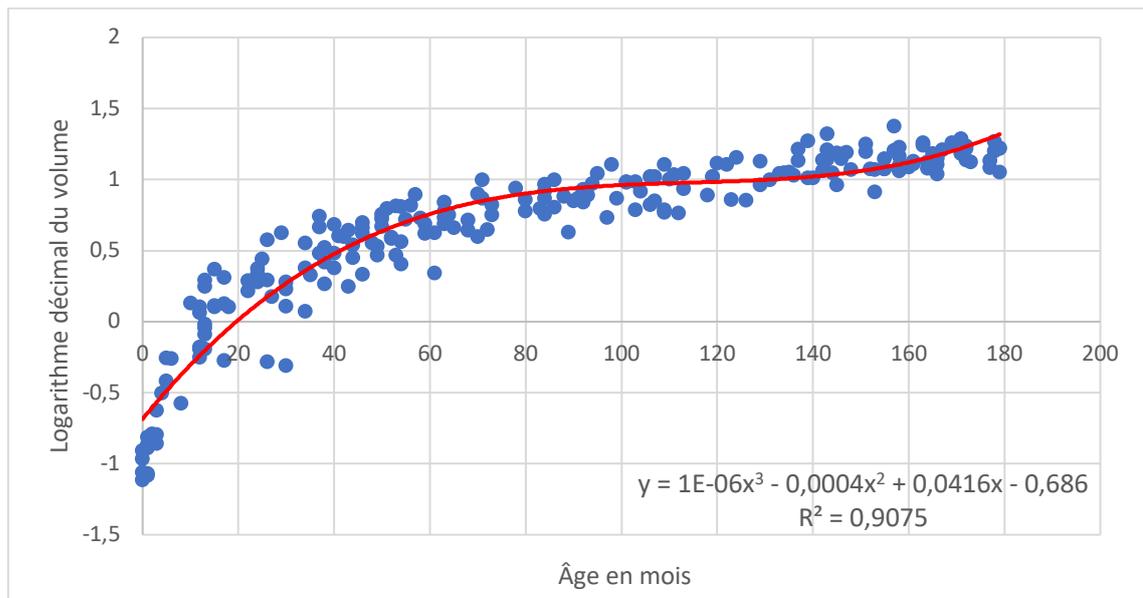


Figure 12 : Courbe de régression de degré 3 illustrant les différentes phases de croissance du volume du sinus maxillaire en fonction de l'âge.

Le Tableau 3 présente quant à lui le taux de croissance de chaque classe d'âge. En admettant qu'à 15 ans le sinus ait fait 100% de sa croissance, on remarque qu'il a quasiment atteint le quart de son volume total à 3 ans (Tableau 3 colonne 3).

La colonne 5 du Tableau 3 représente le taux d'augmentation de croissance d'une classe d'âge par rapport à la suivante. Il est élevé dans les trois premières années de vie : entre 0-1 an et 1-2 ans le volume moyen augmente de 377%, et entre 0 et 3 ans de 1369%. Le taux d'augmentation de volume est plus lent par la suite avec un plateau vers 11 ans. C'est donc au tout début de la vie que l'on remarque les changements les plus importants.

Classe d'âge en années	Moyenne du volume en cm ³	Taux de croissance en %	Augmentation du taux de croissance par rapport au volume final (en %)	Augmentation du taux de croissance par rapport à la classe d'âge suivante (en %)
0-1	0,2621891	1,7	1,7	377,7
1-2	1,252395	7,9	6,2	68,4
2-3	2,109575	13,3	5,4	68,8
3-4	3,560984	22,4	9,1	34,5
4-5	4,79031	30,2	7,7	17,2
5-6	5,614191	35,3	5,2	14,3
6-7	6,416624	40,4	5,1	22,3
7-8	7,847861	49,4	9,0	8,1
8-9	8,483778	53,4	4,0	10,0
9-10	9,334564	58,8	5,4	16,9
10-11	10,91296	68,7	9,9	19,3
11-12	13,01844	81,9	13,3	0,2
12-13	13,03811	82,1	0,1	10,1
13-14	14,35056	90,3	8,3	10,7
14-15	15,88599	100,0	9,7	
			100,0	

Tableau 3 : Taux de croissance du sinus en fonction de l'âge

Code couleur : rouge = faible augmentation du taux de croissance, vert = forte augmentation du taux de croissance.

La quantité de croissance annuelle du sinus maxillaire en pourcentage est représentée sur la Figure 13. Il s'agit de l'interprétation graphique de la colonne 3 du Tableau 3. Nous pouvons remarquer que l'augmentation de la quantité de croissance est presque linéaire, avec un plateau entre 11 et 13 ans.

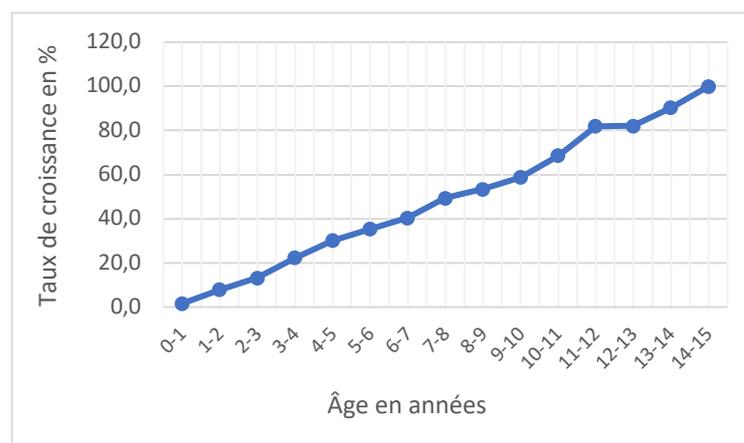


Figure 13 : Représentation graphique de la quantité de croissance annuelle du sinus maxillaire (en pourcentage).

3.3 Analyse descriptive univariée du sous-échantillon (n=30)

Les moyennes des volumes et surfaces des sinus maxillaires droits et gauches pour les six classes d'âge du sous-échantillon sont répertoriées dans le Tableau 4. Il existe ainsi peu de différences entre les sinus droits et gauches, aussi bien pour le volume que pour la surface.

Tableau 4 : Volume et surface moyens des sinus maxillaires droits et gauches pour chaque classe d'âge (n=30).

Âge en années	Volume moyen en cm ³ (écart-type) du sinus maxillaire droit	Volume moyen en cm ³ (écart-type) du sinus maxillaire gauche	Surface moyenne en cm ² (écart-type) du sinus maxillaire droit	Surface moyenne en cm ² (écart-type) du sinus maxillaire gauche
0	0,199 (0,116)	0,215 (0,122)	1,846 (0,727)	1,918 (0,721)
1	1,214 (0,346)	1,312 (0,465)	6,751 (1,196)	6,988 (1,703)
2	2,098 (0,901)	1,960 (0,816)	9,692 (2,763)	9,228 (2,826)
12	13,683 (1,750)	13,194 (1,931)	34,778 (2,875)	33,489 (3,837)
13	14,269 (2,726)	14,110 (2,283)	35,487 (4,723)	36,850 (5,839)
14	17,181 (1,353)	18,001 (1,968)	40,679 (2,910)	41,103 (3,570)

3.4 Analyse de l'asymétrie sur l'ensemble du sous-échantillon (n=30)

Les résultats du test de Student montrent qu'il n'existe pas de différence significative de volume entre les sinus droits et gauches pour l'ensemble du sous-échantillon ($p > 0.05$) (Tableau 5).

Tableau 5 : Moyenne et médiane des volumes des sinus droits et gauches sur l'ensemble de l'échantillon (n=30) et résultats du test t de Student

	Sinus droit	Sinus gauche
Moyenne en cm ³	8,1074	8,1321
Médiane en cm ³	7,5578	7,1298
t	-0,15824	
p (same mean)	0,87536	

3.5 Analyse de l'asymétrie dans le groupe 0 à 2 ans

Les résultats ne montrent pas non plus de différence significative de volume entre les sinus droits et gauches pour les enfants de 0 à 2 ans ($p > 0.05$) (Tableau 6).

Tableau 6 : Moyenne et médiane des sinus droits et gauches dans le groupe 0-2 ans (n=15) et résultats du test t de Student

	Sinus droit	Sinus gauche
Moyenne en cm ³	1,1703	1,1625
Médiane en cm ³	1,1565	1,0534
t	0,15465	
p	0,8793	

3.6 Analyse de l'asymétrie dans le groupe 12 à 14 ans

Il n'existe pas non plus de différence significative de volume entre les sinus droits et gauches chez les adolescents de 12 à 14 ans ($p > 0.05$) (Tableau 7).

Tableau 7 : Moyenne et médiane des sinus droits et gauches dans le groupe 12-14 ans (n=15) et résultats du test t de Student

	Sinus droit	Sinus gauche
Moyenne en cm ³	15,045	15,102
Médiane en cm ³	15,193	14,657
t	0,18266	
p	0,8562	

3.7 Dimorphisme sexuel

Nous n'observons pas de dimorphisme sexuel dans notre échantillon. Les volumes moyens des sinus droits et gauches ne sont pas significativement différents chez les filles, ni chez les garçons (Tableaux 8 et 9).

Tableau 8 : Moyenne et médiane des sinus droits et gauches chez les filles (n=14)

	Sinus droit	Sinus gauche
Moyenne en cm ³	6,9168	6,7654
Médiane en cm ³	2,0166	2,0812

Tableau 9 : Moyenne et médiane des sinus droits et gauches chez les garçons (n=16)

	Sinus droit	Sinus gauche
Moyenne en cm ³	9,1492	9,328
Médiane en cm ³	11,691	11,277

Pour tester statistiquement le dimorphisme sexuel, nous avons comparé les différences de volume des sinus droits et gauches, entre les garçons et les filles. Le test ne met pas en évidence de différence significative ($p > 0,05$) (Tableau 10).

Tableau 10 : Moyenne de la différence de volume entre les sinus droits et gauches, entre filles et garçons, et résultats du test t de Student.

	Garçons (n=16)	Filles (n=14)
Différence Moyenne en cm ³	0,56168	0,47421
t	0,34986	
p	0,72907	

4 Discussion

4.1 Matériels et Méthodes

4.1.1 Base de données et population étudiée

Les analyses réalisées dans cette étude ont été effectuées à partir de CT scans d'individus autopsiés, répertoriés dans la base de données NMDID. Le CT scan se révèle être un outil tridimensionnel idéal pour l'étude d'une structure anatomique telle qu'une cavité sinusienne. De plus, nous avons pu exclure les individus ayant un passé pathologique pouvant potentiellement impliquer le sinus maxillaire, grâce aux nombreuses données biologiques *antemortem* disponibles.

L'étude principale concernant la croissance du sinus maxillaire a permis de décrire une cinématique de croissance de ce dernier de la naissance jusqu'à l'âge de 14 ans. La courbe représentée sur la Figure 12 met en évidence trois phases de croissance distinctes : un taux de croissance élevée de 0 à 5 ans, suivi d'un taux plus faible et d'un plateau entre 5 et 11 ans, pour finir par un fort taux de croissance après 12 ans. Ces différentes phases de croissance correspondent aux différents stades de croissance staturale de Björk avec un fort taux de croissance en période néo-natale et infantile, un taux plus faible pendant la période juvénile et un nouveau fort taux de croissance à l'adolescence (Figure 14).

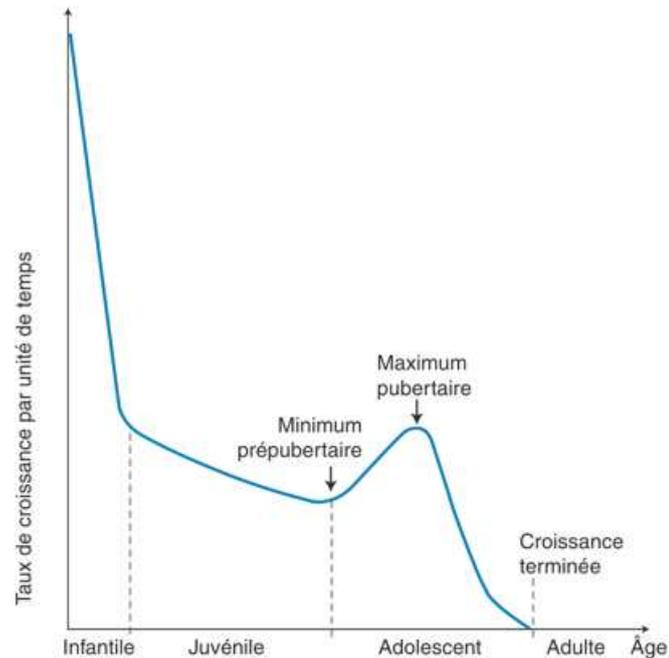


Figure 14 : Courbe moyenne du taux de croissance staturale selon Björk (38).

En conséquence, les deux groupes d'âge 0 à 2 ans et 12 à 14 ans ont été choisis puisqu'ils correspondent aux périodes où la pente de la courbe est la plus élevée, c'est-à-dire aux périodes de plus forte croissance du sinus maxillaire.

4.1.2 Protocole de l'étude

Nous avons réalisé une segmentation manuelle, qui reste le gold standard malgré le temps consommé et son caractère opérateur-dépendant (4). En effet, elle implique un examen de chaque coupe et une sélection des voxels qui peuvent dans certains cas correspondre à du mucus ou de la muqueuse ; ces derniers ayant des niveaux de gris parfois proches de ceux de l'air. En dépit du gain de temps conséquent, l'automatisation de la segmentation peut limiter la précision. Toutefois, les progrès dans le domaine de l'intelligence artificielle tendent vers une détection et une segmentation automatisées des cavités sinusiennes ayant des performances prometteuses (39–41).

Pour certains individus étudiés, seul le CT scan du corps entier était disponible, entraînant une résolution moindre (voxel size parfois supérieur à 0,8x0,8x0,5mm) ; tandis que pour les individus pour lesquels nous avons accès au CT scan de l'extrémité céphalique, la résolution était supérieure (voxel size inférieur à 0,4x0,4x0,5mm). Néanmoins, la plage de résolution n'a pu avoir qu'une incidence négligeable sur les mesures compte tenu de la taille des sinus.

4.2 Résultats de l'étude de la variation intra-individuelle

Notre étude ne retrouve pas d'asymétrie de volume entre les sinus droits et gauches sur l'ensemble de l'échantillon, mais également dans le groupe 0-2 ans ainsi que dans le groupe 12-14 ans, ce qui rejoint les résultats de la littérature concernant des individus en cours de croissance (19–22). Cette absence d'asymétrie peut probablement s'expliquer en partie par le fait que les sinus maxillaires se développent en même temps, conjointement à la croissance maxillaire (42) ; contrairement aux sinus frontaux par exemple, qui se développent indépendamment l'un de l'autre (43).

Nous pouvons alors nous demander si une asymétrie de taille des sinus maxillaires peut être constatée en fin de croissance. Les études portant sur des individus adultes, symptomatiques ou non, ne retrouvent généralement pas non plus d'asymétrie (7,9,17). Néanmoins, des variations anatomiques de la région naso-sinusienne peuvent affecter le flux aérien dans les cavités nasales, pouvant avoir pour conséquence une altération du volume sinusien (7). Dans l'étude Kapusuz et al. (2013) (6) les patients porteurs d'une déviation sévère du septum nasal présentaient un sinus maxillaire significativement plus volumineux du côté controlatéral à la déviation septale ; la relation entre déviation septale et asymétrie sinusienne reste cependant controversée (44,45).

Les asymétries extrêmes comme l'aplasie sinusienne sont extrêmement rares, seulement quelques cas ont été rapportés dans la littérature ; l'hypoplasie unilatérale quant à elle est peu fréquente et ne représente que 7-8% des adultes (46). Dans ces rares situations, l'asymétrie des sinus maxillaires peut être responsable d'une asymétrie faciale (3,47–49) (Figure 15).

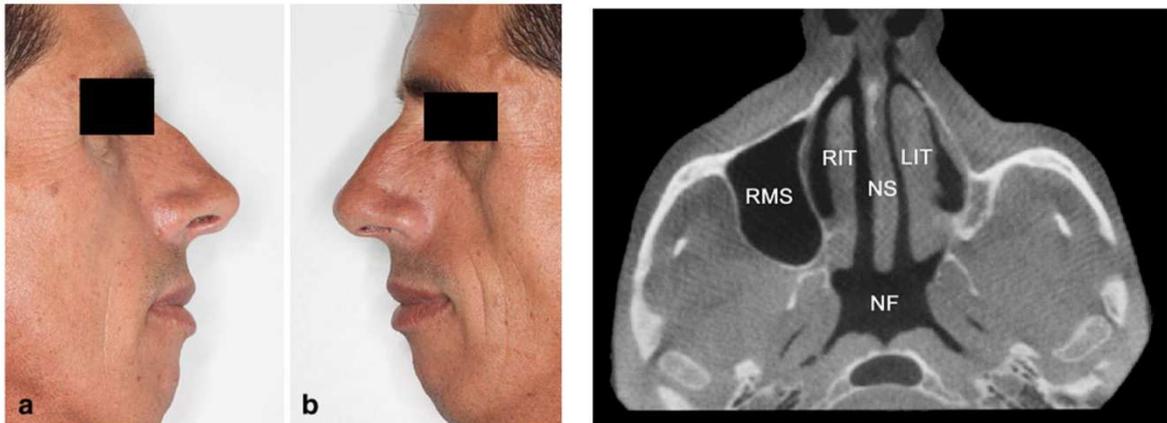


Figure 15 : Aplasie du sinus maxillaire gauche. La vue clinique montre une dépression infra-orbitaire gauche. La coupe axiale du scan montre une absence du sinus maxillaire gauche. Légende : RMS = right maxillary sinus ; NS = nasal septum ; RIT = right inferior turbinate ; LIT = left inferior turbinate ; NF = nasopharynx (49).

Hormis ces cas particuliers, dont le traitement est complexe et pluridisciplinaire, les sinus maxillaires peuvent être considérés comme symétriques en termes de volume et de surface.

Toutefois, il peut exister d'autres formes d'asymétrie non abordées dans cette étude telles que les asymétries de position ou de morphologie. Les sinus maxillaires étant des structures sujettes à de nombreuses variations anatomiques, ils font preuve d'une grande variabilité inter-individuelle (1,50–53). Cette dernière peut partiellement s'expliquer par le fait que les caractéristiques morphologiques subissent des modifications environnementales (54) ; il a d'ailleurs été démontré que des variations de la morphologie crânio-faciale et des sinus maxillaires peuvent, entre autres, être dues à des variations climatiques (55).

Enfin, notre étude ne retrouve pas d'impact du dimorphisme sexuel sur l'asymétrie de volume des sinus maxillaires. Il est toutefois à noter que la littérature s'accorde à dire que les sinus maxillaires des hommes adultes sont plus volumineux que ceux des femmes (17,56–58).

5 Conclusion

Les résultats de notre étude montrent que sur un échantillon de 30 sujets, malgré un certain degré de variations inter-individuelles, nous n'avons pas montré de différence significative de volume entre les sinus maxillaires droit et gauche.

Ces variations limitées se retrouvent aussi bien au début de la vie extra-utérine (enfants âgés de 0 à 2 ans), que lors du pic de croissance pré-pubertaire, chez des adolescents âgés de 12 à 14 ans.

Nos résultats portant à la fois sur la courbe de croissance du volume sinusien (n=230) que sur l'étude de la variation intra-individuelle (n=30) contribuent à améliorer les connaissances dans le domaine de l'anatomie et de la morphologie crânio-faciale, permettant d'éclairer un peu plus la complexité de la structure crânio-faciale humaine et de son développement.

Seule l'asymétrie de volume a été abordée dans cette étude, il serait intéressant pour de futurs travaux d'étudier les asymétries de position ou de morphologie des sinus maxillaires, la prévalence des variations anatomiques de la région naso-sinusienne étant élevée. Concernant les conditions pathologiques, l'altération du développement de ces cavités au cours du temps est encore mal documentée et serait également intéressante à étudier afin d'éclaircir les mécanismes mis en jeu lors de leur développement et/ou de leur remodelage.

Table des figures

<i>Figure 1 : Représentation schématique des sinus paranasaux : vue antérieure et latérale gauche (iconographie personnelle).....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 2 : Vue médiale de la paroi latérale nasale gauche avec les cornets intègres (en haut) et les cornets réséqués (en bas) (16).....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 3 : Développement des sinus maxillaires de la naissance à l'âge adulte (30)...</i>	<i>16</i>
<i>Figure 4 : Vue latérale droite d'un maxillaire d'un enfant de 24 mois. L'éruption de la dent 55 a libéré de la place dans le secteur prémolaire (Flèche 1 : sinus maxillaire droit) (31).</i>	<i>17</i>
<i>Figure 5 : CT scan d'un sujet de 14 ans : les parois du sinus maxillaire droit sont altérées (flèche bleue) (iconographie personnelle).....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 6 : Aspect d'un CT scan (fichier DICOM) ouvert dans 3D Slicer® (iconographie personnelle).</i>	<i>22</i>
<i>Figure 7 : Vue axiale d'un sujet ayant les sinus maxillaires droit et gauche hétérogènes (iconographie personnelle).</i>	<i>23</i>
<i>Figure 8 : Mise en évidence de l'ostium du sinus maxillaire droit (cercle rouge) (iconographie personnelle).</i>	<i>23</i>
<i>Figure 9 : Vue axiale des différentes étapes de la segmentation du sinus maxillaire 1 : Seuillage (Thresholding) ; 2 : Selection du sinus sur différentes coupes ; 3 : Remplissage entre les coupes (Fill between slices) ; 4 : Après réajustement des limites ; 5 : Modélisation 3D de la segmentation (vue antérieure) (iconographie personnelle).....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 10 : Visualisation des mesures de volume et surface à l'aide de l'outil « Segment statistics » (rectangle rouge) (iconographie personnelle).</i>	<i>24</i>
<i>Figure 11 : Droite de régression linéaire mettant en évidence le lien entre l'âge en mois (en abscisse) et le volume du sinus maxillaire (en ordonnée).....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 12 : Courbe de régression de degré 3 illustrant les différentes phases de croissance du volume du sinus maxillaire en fonction de l'âge.</i>	<i>28</i>
<i>Figure 13 : Représentation graphique de la quantité de croissance annuelle du sinus maxillaire (en pourcentage).</i>	<i>29</i>
<i>Figure 14 : Courbe moyenne du taux de croissance staturale selon Björk (38).</i>	<i>35</i>
<i>Figure 15 : Aplasie du sinus maxillaire gauche. La vue clinique montre une dépression infra-orbitaire gauche. La coupe axiale du scan montre une absence du sinus maxillaire</i>	

gauche. Légende : RMS = right maxillary sinus ; NS = nasal septum ; RIT = right inferior turbinate ; LIT = left inferior turbinate ; NF = nasopharynge (49)..... 37

Table des tableaux

<i>Tableau 1 : Tableau récapitulatif du nombre de sujets inclus dans l'étude pour chaque classe d'âge, ainsi que la répartition de filles et de garçons par classe d'âge.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 2 : Volumes moyens en cm³, déviation standard et valeurs minimales et maximales par classe d'âge (n=230).</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 3 : Taux de croissance du sinus en fonction de l'âge</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 4 : Volume et surface moyens des sinus maxillaires droits et gauches pour chaque classe d'âge (n=30).</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 5 : Moyenne et médiane des volumes des sinus droits et gauches sur l'ensemble de l'échantillon (n=30) et résultats du test t de Student.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 6 : Moyenne et médiane des sinus droits et gauches dans le groupe 0-2 ans (n=15) et résultats du test t de Student.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 7 : Moyenne et médiane des sinus droits et gauches dans le groupe 12-14 ans (n=15) et résultats du test t de Student.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 8 : Moyenne et médiane des sinus droits et gauches chez les filles (n=14)...</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 9 : Moyenne et médiane des sinus droits et gauches chez les garçons (n=16)</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 10 : Moyenne de la différence de volume entre les sinus droits et gauches, entre filles et garçons, et résultats du test t de Student.</i>	<i>33</i>

Bibliographie

1. Papadopoulou AM, Chrysikos D, Samolis A, Tsakotos G, Troupis T. Anatomical Variations of the Nasal Cavities and Paranasal Sinuses: A Systematic Review. *Cureus* [Internet]. 15 janv 2021 [cité 4 nov 2023]; Disponible sur: <https://www.cureus.com/articles/48911-anatomical-variations-of-the-nasal-cavities-and-paranasal-sinuses-a-systematic-review>
2. Aşantoğrol F, Coşgunarslan A. The effect of anatomical variations of the sinonasal region on maxillary sinus volume and dimensions: a three-dimensional study. *Braz J Otorhinolaryngol*. 1 nov 2022;88:S118-27.
3. Basdra E. The importance of the maxillary sinuses in facial development: a case report. *Eur J Orthod*. 1 févr 1998;20(1):1-4.
4. Lee S, Fernandez J, Mirjalili SA, Kirkpatrick J. Pediatric paranasal sinuses- Development, growth, pathology, & functional endoscopic sinus surgery. *Clin Anat N Y N*. sept 2022;35(6):745-61.
5. Sun W, Xia K, Huang X, Cen X, Liu Q, Liu J. Knowledge of orthodontic tooth movement through the maxillary sinus: a systematic review. *BMC Oral Health*. 23 mai 2018;18(1):91.
6. Kapusuz Gencer Z, Özkırış M, Okur A, Karaçavuş S, Saydam L. The effect of nasal septal deviation on maxillary sinus volumes and development of maxillary sinusitis. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 1 nov 2013;270(12):3069-73.
7. Kucybała I, Janik KA, Ciuk S, Storman D, Urbanik A. Nasal Septal Deviation and Concha Bullosa – Do They Have an Impact on Maxillary Sinus Volumes and Prevalence of Maxillary Sinusitis? *Pol J Radiol*. 2018;82:126-33.
8. Aliu A, Mohammad M, Sirajo B, Abraham A, Abdullahi Z. Classification of anatomical variants of maxillary sinus shapes and symmetry using computerized tomographic imaging. *Sub-Sahar Afr J Med*. 2019;6(3):143.
9. Hamdy RM, Abdel-Wahed N. Three-dimensional linear and volumetric analysis of maxillary sinus pneumatization. *J Adv Res*. mai 2014;5(3):387-95.
10. Delmas TRJ, Radulesco T, Varoquaux A, Thomassin JM, Dessi P, Michel J. Anatomie des cavités nasosinusiennes. *EMC–Oto-Rhino-Laryngol*. 2017;13:1-20.
11. Kamina P, Martinet C, Gouazé A. Anatomie clinique. Tome 2, [Tête, cou, dos]. 4e édition. Paris: Maloine; 2013.
12. Drake RL, Vogl W, Mitchell AWM, Tibbitts R, Richardson PE, Horn A, et al. Gray's

anatomie: le manuel pour les étudiants. 4e éd. Issy-les-Moulineaux: Elsevier-Masson; 2020.

13. Abubaker AO. Applied Anatomy of the Maxillary Sinus. *Oral Maxillofac Surg Clin N Am.* févr 1999;11(1):1-13.
14. Jankowski R, Nguyen DT, Poussel M, Chenuel B, Gallet P, Rumeau C. Sinusologie. *Ann Fr Oto-Rhino-Laryngol Pathol Cervico-Faciale.* sept 2016;133(4):237-43.
15. Eloy P, Nollevaux MC, Bertrand B. Physiologie des sinus paranasaux. *EMC - Oto-Rhino-Laryngol.* mai 2005;2(2):185-97.
16. Captier G. Squelette et cavités osseuses de la tête. In: Captier G, éditeur. *Anatomie tête et cou (Cours + QCM)* [Internet]. 2012. p. 21-63. Disponible sur: <https://www.clinicalkey.com/student/content/book/3-s2.0-B9782294712166000063>
17. Abate A, Cavagnetto D, Lanteri V, Maspero C. Three-dimensional evaluation of the maxillary sinus in patients with different skeletal classes and cranio-maxillary relationships assessed with cone beam computed tomography. *Sci Rep.* 6 févr 2023;13(1):2098.
18. Arijji Y, Kuroki T, Moriguchi S, Arijji E, Kanda S. Age changes in the volume of the human maxillary sinus: a study using computed tomography. *Dentomaxillofacial Radiol* [Internet]. 28 janv 2014 [cité 6 mai 2023]; Disponible sur: <https://www.birpublications.org/doi/10.1259/dmfr.23.3.7835518>
19. Maspero C, Farronato M, Bellincioni F, Annibale A, Machetti J, Abate A, et al. Three-Dimensional Evaluation of Maxillary Sinus Changes in Growing Subjects: A Retrospective Cross-Sectional Study. *Materials.* janv 2020;13(4):1007.
20. Smith SL, Buschang PH, Dechow PC. Growth of the maxillary sinus in children and adolescents: A longitudinal study. *HOMO.* janv 2017;68(1):51-62.
21. Sarilita E, Lita YA, Nugraha HG, Murniati N, Yusuf HY. Volumetric growth analysis of maxillary sinus using computed tomography scan segmentation: a pilot study of Indonesian population. *Anat Cell Biol.* 31 déc 2021;54(4):431-5.
22. Bhushan B, Rychlik K, Schroeder JW. Development of the maxillary sinus in infants and children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* déc 2016;91:146-51.
23. Ballivet de Régloix S, Maurin O, Lisan Q, Pons E, Crambert A, Genestier L, et al. Relations pathologiques entre dents et sinus maxillaire. *Médecine Buccale.* 1 janv 2015;8(1):1-11.
24. Lorkiewicz-Muszyńska D, Kociemba W, Rewekant A, Sroka A, Jończyk-Potoczna K, Patelska-Banaszewska M, et al. Development of the maxillary sinus from birth to age

18. Postnatal growth pattern. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* sept 2015;79(9):1393-400.
25. Lee S, Fernandez JW, Mahadevan M, Tarr G, Mirjalili A. Using 3D-reconstruction to analyse typical growth trends of the maxillary sinus in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* nov 2020;138:110334.
26. Masuda S. Role of the maxillary sinus as a resonant cavity. *Nippon Jibiinkoka Gakkai Kaiho.* 1992;95(1):71-80.
27. Rae TC, Koppe T. Independence of Biomechanical Forces and Craniofacial Pneumatization in Cebus. *Anat Rec.* 2008;291(11):1414-9.
28. Abdalla MA. Human Maxillary Sinus Development, Pneumatization, Anatomy, Blood Supply, Innervation and Functional Theories: An Update Review. *Siriraj Med J.* 1 juill 2022;74(7):472-9.
29. Jankowski R. The evo-devo origin of the nose, anterior skull base and midface. Springer; 2013.
30. Scuderi AJ, Harnsberger HR, Boyer RS. Pneumatization of the paranasal sinuses: normal features of importance to the accurate interpretation of CT scans and MR images. *Am J Roentgenol.* mai 1993;160(5):1101-4.
31. Gaudy JF, Cannas B, Haddioui AE, Gillot L, Gorce T, Charrier JL. Os maxillaire: morphologie et sinus maxillaire. In: *Atlas D'anatomie Implantaire* [Internet]. Elsevier; 2011 [cité 9 juin 2023]. p. 3-29. Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9782294713798000019>
32. Livas C, Halazonetis DJ, Booij JW, Pandis N, Tu YK, Katsaros C. Maxillary sinus floor extension and posterior tooth inclination in adolescent patients with Class II Division 1 malocclusion treated with maxillary first molar extractions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* avr 2013;143(4):479-85.
33. 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.* 8 avr 1998;60(3):147-52.
34. Park IH, Song JS, Choi H, Kim TH, Hoon S, Lee SH, et al. Volumetric study in the development of paranasal sinuses by CT imaging in Asian: A Pilot study. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* déc 2010;74(12):1347-50.
35. Garcia M. Croissance et développement du sinus maxillaire : étude radiologique sur 230 sujets. Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Études Spécialisées en Orthopédie Dento-Faciale. Université de Lille; 2023.
36. Edgar H, Daneshvari Berry S, Moes E, Adolphi N, Bridges P, Nolte K. New Mexico Decedent Image Database. Office of the Medical Investigator, University of New

Mexico. 2020 [cité 24 août 2023]; Disponible sur: <http://nmdid.unm.edu/>

37. Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, Finet J, Fillion-Robin JC, Pujol S, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn Reson Imaging*. nov 2012;30(9):1323-41.
38. Akin JJ. Croissance générale de l'enfant. EMC. Elsevier Masson SAS), Orthopedie Dentofaciale; 2008.
39. Choi H, Jeon KJ, Kim YH, Ha EG, Lee C, Han SS. Deep learning-based fully automatic segmentation of the maxillary sinus on cone-beam computed tomographic images. *Sci Rep*. 17 août 2022;12(1):14009.
40. Morgan N, Van Gerven A, Smolders A, de Faria Vasconcelos K, Willems H, Jacobs R. Convolutional neural network for automatic maxillary sinus segmentation on cone-beam computed tomographic images. *Sci Rep*. 7 mai 2022;12(1):7523.
41. Buzi C, Profico A, Liang C, Khonsari RH, O'Higgins P, Moazen M, et al. Icx: Advances in the automatic extraction and volume calculation of cranial cavities. *J Anat*. 2023;242(6):1172-83.
42. Lautrou A. Croissance et morphogenèse du squelette cranio-facial Applications en orthopédie dento-faciale Les conceptions de J. Delaire. *Orthod Fr*. mars 2002;73(1):5-18.
43. Duque CS, Casiano RR. Surgical Anatomy and Embryology of the Frontal Sinus. In: Kountakis SE, Senior BA, Draf W, éditeurs. *The Frontal Sinus* [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer; 2005 [cité 22 nov 2023]. p. 21-31. Disponible sur: https://doi.org/10.1007/3-540-27607-6_3
44. de Paula SBS, Nunes LA, de Oliveira Ruellas AC, de Castro ACR. Influence of nasal septum deviation on fluctuating asymmetries of the nasomaxillary complex: A cross-sectional study. *J Anat*. 2022;241(6):1273-86.
45. Tassoker M, Magat G, Lale B, Gulec M, Ozcan S, Orhan K. Is the maxillary sinus volume affected by concha bullosa, nasal septal deviation, and impacted teeth? A CBCT study. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 1 janv 2020;277(1):227-33.
46. Whyte A, Boeddinghaus R. The maxillary sinus: physiology, development and imaging anatomy. *Dentomaxillofacial Radiol*. déc 2019;48(8):20190205.
47. Brito. Maxillary Sinus Asymmetry in Children: Report of Two Cases and Literature Review. *J Rhinology-Otol* [Internet]. 2013 [cité 20 avr 2023]; Disponible sur: <http://www.synergypublishers.com/downloads/jrov1n2a1/>
48. Price DL, Friedman O. Facial asymmetry in maxillary sinus hypoplasia. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. oct 2007;71(10):1627-30.

49. Chrcanovic BR, Freire-Maia B. Maxillary sinus aplasia. *Oral Maxillofac Surg.* 1 sept 2010;14(3):187-91.
50. Al-Qudah M. Anatomical Variations in Sino-Nasal Region: A CT Study,. *Jourdan Med J.* 24 sept 2010;44:290.
51. Dasar U, Gokce E. Evaluation of variations in sinonasal region with computed tomography. *World J Radiol.* 28 janv 2016;8(1):98-108.
52. Kaygusuz A, Haksever M, Akduman D, Aslan S, Sayar Z. Sinonasal Anatomical Variations: Their Relationship with Chronic Rhinosinusitis and Effect on the Severity of Disease—A Computerized Tomography Assisted Anatomical and Clinical Study. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 1 sept 2014;66(3):260-6.
53. Kumar P, Bs R, Prasad R. Anatomical Variations of Sinonasal Region, A Coronal CT Scan Study. 2016;3(9).
54. Eveleth PB. Population Differences in Growth: Environmental and Genetic Factors. In: Falkner F, Tanner JM, éditeurs. *Human Growth: Volume 3 Neurobiology and Nutrition* [Internet]. Boston, MA: Springer US; 1979 [cité 24 août 2023]. p. 373-94. Disponible sur: https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0817-1_12
55. Maréchal L, Heuzé Y. Interaction Between Environmental Temperature and Craniofacial Morphology in Human Evolution: A Focus on Upper Airway. 2021;
56. Shrestha B, Shrestha R, Lin T, Lu Y, Lu H, Mai Z, et al. Evaluation of maxillary sinus volume in different craniofacial patterns: a CBCT study. *Oral Radiol.* 1 oct 2021;37(4):647-52.
57. Aktuna Belgin C, Colak M, Adiguzel O, Akkus Z, Orhan K. Three-dimensional evaluation of maxillary sinus volume in different age and sex groups using CBCT. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 1 mai 2019;276(5):1493-9.
58. Bangi BB, Ginjupally U, Nadendla LK, Vadla B. 3D Evaluation of Maxillary Sinus Using Computed Tomography: A Sexual Dimorphic Study. *Int J Dent.* 2017;2017:1-4.

Évaluation de l'asymétrie de volume des sinus maxillaires sur un échantillon de 30 enfants et adolescents.

GARCIA Maurine - p. (48) ; ill. (15) ; réf. (58).

Domaines : Orthopédie Dento-Faciale, Imagerie et Radiologie

Mots clés Libres : croissance (growth) ; développement (development) ; asymétrie (asymmetry) ; sinus maxillaire (maxillary sinus) ; CT scan ; segmentation

Résumé de la thèse en français

Introduction : par leur localisation centrale, au cœur des os maxillaires et des voies aériennes supérieures, les sinus maxillaires sont des structures à la frontière de nombreuses disciplines médicales, dont l'odontologie. Ils font partie de la région naso-sinusienne, siège de variations anatomiques fréquentes et diverses qui peuvent potentiellement impacter le développement des sinus maxillaires. Ces derniers sont alors susceptibles de voir leur taille, leur forme, leur position ou encore leurs rapports avec les structures adjacentes changés. Dans ce contexte, étudier leur asymétrie revêt une importance à la fois pour son implication dans le diagnostic de pathologies associées aux sinus mais aussi pour son rôle dans la planification d'un traitement chirurgical, ou orthodontique. Néanmoins, la plupart des études retrouvées à ce sujet se concentrent sur des patients adultes et/ou symptomatiques. Par conséquent, l'objectif de cette étude est d'évaluer l'asymétrie de volume des sinus maxillaires chez des individus sains, en cours de croissance.

Matériels et méthodes : 30 CT scans d'individus répartis en 6 classes d'âge de 0 à 2 ans et de 12 à 14 ans ont été sélectionnés aléatoirement à partir de la base de données New Mexico Decedent Image Database. Le logiciel 3D Slicer® 5.2.2 nous a permis de réaliser les segmentations tridimensionnelles des sinus droit et gauche pour chaque individu et de calculer le volume et la surface de chaque sinus.

Résultats : il n'existe pas d'asymétrie de volume des sinus maxillaires sur l'ensemble de notre échantillon, ainsi que dans la classe d'âge 0-2 ans et dans la classe d'âge 12-14 ans. Il n'existe pas non plus d'impact du dimorphisme sexuel sur l'asymétrie.

Conclusion : les résultats de cette étude contribuent à l'avancée de la recherche dans le domaine de l'anatomie et de la morphologie crânio-faciale, permettant d'éclairer un peu plus la complexité de la structure faciale humaine.

JURY :

Président : Mr le Professeur Thomas COLARD

Assesseurs : Mme le Docteur Amélie de BROUCKER

Mme le Docteur Mathilde SAVIGNAT

Mme le Docteur Pauline BOUCHER