



HAL
open science

Étude tridimensionnelle de l'os hyoïde et de ses relations avec les voies aériennes supérieures (VAS) : influences des paramètres biologiques et de la typologie faciale

Thi Thuy Nga Nguyen

► To cite this version:

Thi Thuy Nga Nguyen. Étude tridimensionnelle de l'os hyoïde et de ses relations avec les voies aériennes supérieures (VAS) : influences des paramètres biologiques et de la typologie faciale. Anthropologie biologique. Université de Bordeaux, 2016. Français. NNT : 2016BORD0332 . tel-01503191

HAL Id: tel-01503191

<https://theses.hal.science/tel-01503191>

Submitted on 6 Apr 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE PRÉSENTÉE
POUR OBTENIR LE GRADE DE
DOCTEUR DE
L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

ÉCOLE DOCTORALE DE SCIENCES ET L'ENVIRONNEMENTS
SPÉCIALITÉ : ANTHROPOLOGIE BIOLOGIQUE

Par Thi Thuy Nga NGUYEN

**Étude tridimensionnelle de l'os hyoïde et de ses relations avec les voies
aériennes supérieures (VAS). Influences des paramètres biologiques et de la
typologie faciale**

Sous la direction de
Anne-Marie TILLIER et Marie-José BOILEAU

Soutenue le 9 décembre 2016

Devant le jury composé de:

M. Gérard ABOUDHARAM, MCU-PH, Université d'Aix-Marseille	Rapporteur
M. György PALFI, Professeur, Université de Szeged, Hongrie	Rapporteur
Mme Corine TADDEI, Professeur, Université de Strasbourg	Rapporteur
Mme Marie-José BOILEAU, PU-PH, Université de Bordeaux	Directrice de thèse
M. Christophe BOU, MCU-PH, Université de Bordeaux	Examineur
Mme Hélène COQUEUGNIOT, Directrice de Recherche au CNRS, Bordeaux	Examinatrice
Mme Anne-marie TILLIER, Directrice de recherche au CNRS émérite, Bordeaux	Directrice de thèse
M. Dinh Hai TRINH, Professeur, Hôpital National d'Odonto-Stomatologie, Hanoi	Examineur

À mes parents, qui m'ont fait une petite rêveuse, lorsque j'étais un enfant

REMERCIEMENTS

J'aimerais tout d'abord remercier Madame Corinne Taddéi, Messieurs György Pálfi, Gérard Aboudharam qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'être les rapporteurs de mon travail, ainsi que Madame Hélène Coqueugniot, Messieurs Christophe Bou et Dinh Hai Trinh qui ont la bienveillance de siéger dans mon jury.

Réaliser cette thèse signifie pour moi accomplir un rêve d'enfance qui m'accompagne depuis près de 30 ans. Et si j'ai pu sortir de ce rêve en croyant avoir vécu un conte de fées et non pas un cauchemar, c'est grâce aux multiples personnages que je voudrais ici remercier de tout mon coeur.

Je tiens tout d'abord à remercier infiniment mes deux directrices de thèse, Anne-Marie Tillier et Marie-José Boileau. Vous avez été les deux fées marraines qui m'ont guidée avec rigueur et compréhension, avec écoute et pertinence, en offrant suggestions et encouragements, et surtout en gardant confiance en moi, envers et contre mes moments de doutes. Votre exigence du travail bien fait tout comme vos infatigables corrections m'ont transformée en une autre personne. J'ai pu apprécier et apprendre de vous, durant ces années de thèse, des qualités scientifiques et humaines exceptionnelles, qui m'ont amenée à sortir de la thèse grandie, plus mûre, plus sûre de moi, autant scientifiquement qu'humainement. Je suis fière d'être votre élève, et je vous prie de recevoir l'expression de ma gratitude la plus profonde. J'adresse, de plus, des remerciements particuliers au Pr. Marie-José Boileau, qui m'a accueillie dans sa famille et m'a offert des conditions inespérées pour mes séjours à Bordeaux.

Je remercie vivement mon co-encadrant vietnamien, le Pr. Mai Dinh Hung : vous avez été pour moi un exemple de l'auto-formation continue et je vous remercie pour votre aide et vos conseils.

Je dois le commencement de ce rêve à une personne qui m'est très chère, le Dr. Jean-François Lasserre, MCU de la Faculté d'Odontologie de Bordeaux. Merci de m'avoir présentée à ma directrice de thèse, merci de ton aide et de tes conseils lors des premiers pas pour l'inscription à l'École Doctorale, de m'avoir accueillie pour les premiers jours à Bordeaux, merci de ton aide "multi-disciplinaire", malgré ton emploi du temps bien chargé. Quinze années se sont écoulées depuis que nous nous connaissons et je ne te remercierai jamais assez de cette amitié.

Cette recherche ayant été soutenue financièrement par une allocation doctorale régionale de l'Agence Universitaire de la Francophonie, j'aimerais remercier ses fonctionnaires du Bureau Asie-Pacifique qui m'ont aidée avec sympathie et efficacité pour les démarches administratives, en particulier Mme Nguyen Thi Minh Hong, chargée des bourses. Je remercie également mon ancien employeur, Pr Truong Manh Dung, Doyen de la faculté d'Odontologie de l'Université de Médecine de Hanoi, qui a donné l'accord initial nécessaire.

Un corpus d'étude est essentiel pour qu'un travail de thèse puisse se concrétiser : j'adresse ainsi mes remerciements les plus chaleureux au Dr Jacques Treil (faculté d'Odontologie, Université de Paul Sabatier, Toulouse), qui a autorisé l'emprunt et l'utilisation des CBCT de sa

collection, et m'a de plus appris à maîtriser le logiciel 3S Imaging. Monsieur Treil, vous m'avez accueillie avec simplicité et gentillesse, je vous remercie pour votre aide précieuse sans laquelle mener à bien ce travail aurait été difficile.

Aussi, de la même manière, je remercie le service de radiologie de l'Hôpital National d'Odonto-stomatologie de Hanoi et ses praticiens, en particulier le Dr Do Ngoc Duc, qui ont eu l'amabilité de dupliquer des CD des cas pendant près d'une année, pour que la boîte rose que je leur avais laissée soit remplie des CBCT répondant à mes critères de choix.

Pour les premiers pas, sans doute les plus difficiles, de la conception du protocole méthodologique, j'ai bénéficié d'aides précieuses dont en premier lieu celle de Dr Christophe Bou, que je remercie pour ses conseils. Je remercie chaleureusement M. Bruno Dutailly pour sa gentillesse, ses explications lors de mon initiation à son logiciel TIVMI®, et ses réponses à mes demandes d'ajout d'outils de mesures. Merci à Pierre Guyoma'rch pour ses astuces et expériences avec TIVMI®, et surtout mes sincères remerciements à Antony Colombo. Antony, Dieu merci tu étais là, et comme le "Boudha" dans la version vietnamienne de "Cendrillon", tu apparaissais toujours au moment où je ne savais plus quoi faire. Tu m'as apporté des réponses et des solutions, tu as corrigée mes mauvaises maîtrises informatiques, tu m'as fait faire des tests de répétition, tu as suggéré des points à améliorer. Tu as été pour moi un vrai "Boudha".

Grand merci au magicien de mon rêve, Frédéric Santos, qui, en un coup de baguette magique a changé des problèmes statistiques compliqués en une chose simple. Frédéric, merci de tes explications, toujours avec clarté et bonne humeur, merci de ton accompagnement durant le long parcours d'analyse des résultats, merci d'accepter de réaliser, parfois à plusieurs reprises, des tests statistiques.

Merci aux établissements tuteurs, des deux côtés français et vietnamien, dont les accords et le soutien matériel ont été indispensables au déroulement de ma thèse.

Je tiens donc à remercier l'équipe directoriale du laboratoire PACEA, qui m'a offert les meilleures conditions de travail, tout d'abord Mesdames Anne Delagnes et Christine Couture-Veschambre. Je remercie particulièrement M. Bruno Maureille, qui m'a accueillie pour la première fois et a écrit avec confiance la mention "favorable" sur ma fiche d'inscription à l'École Doctorale. Cet avis favorable m'a toujours suivie, en me rappelant la confiance spontanée dont il a fait preuve à mon égard, et en me motivant dans les moments de doute. Je remercie les chercheurs et enseignants que j'ai eu l'occasion de croiser et de questionner, et avec lesquels j'ai pu discuter dans les couloirs ou à la cafétaria, Mme Dominique Castex, Mme Christine Couture-Veschambre, Mme Hélène Coqueugniot, M. Olivier Dutour, Mme Priscilla Bayle et M. Stéphane Rottier. Un remerciement spécial à M. Sébastien Villote, qui m'a donné des conseils précieux quant à l'analyse statistique et m'a gentiment accordé les premiers commentaires encourageants pour mes résultats. Je remercie également Mme Régine Wortmann, M. Jean-François Caro et Mme Isabelle Esquirial, pour la gentillesse et la bienveillance qu'ils me réservent lors des assistances administratives, financières ou documentaires.

Du côté vietnamien, c'est d'abord au directeur de l'Hôpital National d'Odontostomatologie de Hanoi, le Pr. Trinh Dinh Hai que j'adresse ma reconnaissance profonde. En tant que mon employeur, il m'a encouragée pour la poursuite de mes recherches et m'a accordé son soutien entier. Je remercie vivement mes deux chefs de service, Mme Hoang Thi Bach Duong puis Mme Nguyen Thanh Huyen, qui l'une après l'autre, avec compréhension et encouragement, m'ont toujours réservé des organisations adaptées. Mes voyages multiples, mes absences fréquentes à l'Hôpital ne peuvent pas se faire sans le partage des charges de la part de mes collègues du service d'Orthopédie dento-faciale, que je remercie bien chaleureusement. Je remercie également le Dr. Chu Thi Quynh Huong, qui a aimablement assuré l'accueil de mes patients au cabinet. Ma chère Huong, merci pour cette collaboration durable, merci pour ton écoute, tes conseils, ton soutien tant professionnel que personnel. Merci également à mes assistants, qui en plus de leur assistance, ont fait partie de ma famille professionnelle.

Et un grand merci à tous les ex-doctorants et doctorants du laboratoire PACEA, Antony Colombo, Mélie Le Roy, Arwa Kharobi, Kevin Salesse, Aurélie André, Caroline Laforest, Mona Le Luyer, Léonie Rey, Nada Ellias, Sacha Kacki, Maïté Rivollat, Mathilde Samsel, Caroline Partiot et Marie Matu. Merci d'avoir créé une ambiance d'amitié et d'entraide entre nous, d'avoir amené une âme dans ces bureaux. Merci encore une fois à Antony pour tout ce qu'il a fait pour moi, à Kevin, pour les questions philosophiques qui me restent en tête durant des jours, à Arwa et Mélie, pour leur disponibilité et leurs réponses. Un merci spécial à Caroline Partiot, qui, durant ses premières vacances de Noël en tant que doctorante, a soigneusement corrigé mes fautes d'orthographe. Et surtout, merci à Maïté, pour cet hiver de la ligne droite ensemble, aussi stressant qu'il puisse être, pour tes conseils tout au long de la rédaction de la thèse, pour la relecture finale minutieuse, pour les bons moments partagés, les encouragements que tu m'as apportés à chaque moment où j'allais baisser les bras. Je clôture la foulée des soutenances, qui depuis l'année dernière laisse une sorte de "vide" aux doctorants restants. Alors, Mathilde, Léonie, Caroline et Marie, je vous souhaite une bonne continuation et je suis sûre que vous maintiendrez les bonnes traditions des doctorants.

Ce rêve, j'ai pu le vivre dans d'autres couleurs que celles de la thèse grâce aux amis bordelais, qui m'ont fait découvrir la beauté de la région. Alors, merci à Bernard et Maria, pour les rencontres presque hebdomadaires, pour les moments inoubliables ensemble, que ce soit une course de vélo dans la forêt ou des vendanges en un jour d'automne. Merci à Benoît pour les dépannages, les conseils techniques pour la mise en forme du manuscrit, les réponses téléphoniques à tout moment. Merci à Anca, pour ton passage à Bordeaux, les promenades, les discussions sans fin sur tous les sujets.

Merci à Franck, avec qui j'ai partagé un logement et la passion de la cuisine. Merci pour des soirées agréables, pour les coups de main pour le vélo ou la lumière, entre autres... Merci à Dominique, pour les fleurs de saison, les orchidées soignées, les petits cadeaux après chaque voyage, les marchés du dimanche matin avec tant de fraîcheur et de tranquillité. Merci à Claude,

dont la bonne humeur fait de toutes les rencontres une réussite. En bref, merci à vous tous pour ce sentiment familial que j'ai pu ressentir avec vous.

Merci à mes amis depuis l'université, Lan, Lam et Khuyen, à qui je n'ai jamais dit combien chers ils sont à mes yeux, sachez aujourd'hui que votre amitié inconditionnelle a été pour moi un précieux support. À Huyen, malgré la façon étrange dont nous nous sommes rencontrées, tu es devenue ma grande soeur, personne ne me connaît comme tu me connais, merci de ton soutien aux moments les plus perturbants de cette thèse.

Et si, dans l'embarras de la dernière ligne droite, j'ai oublié de citer les noms de personnes qui ont aidé et contribué à ma thèse, je leur demande pardon, et qu'ils soient remerciés ici avec toute ma gratitude.

Enfin, je remercie de tout mon coeur ma grande famille, ma belle-mère qui m'a aidée sans demande de reconnaissance, qui a bien voulu s'occuper de mon fils pour que je puisse partir "problems free". À travers le temps, j'ai pu sentir son affection malgré les différences entre nous, et j'aimerais lui démontrer à mon tour mon affection et ma gratitude. Merci à mon beau-frère, Dang Bao Linh, sa femme Tran Tu Ha et leurs deux enfants, merci de la chaleur familiale unique entre nous, merci pour votre support silencieux mais durable.

À mes parents, pour leur amour qui m'accompagne, malgré leur absence : Papa et Maman, cette thèse, je l'ai faite pour vous. Quelque part là haut, vous pourrez sourire de cet accomplissement de votre fille.

Merci au jardin bordelais dont les couleurs et la musique me réconfortent à tout moment, d'une aurore fluviale à un crépuscule paisible.

Comme il va falloir que je me réveille, j'ai terminé un rêve pour en débiter un autre. Et ce nouveau rêve, je le ferai toujours en compagnie des deux hommes de ma vie. Merci à mon cher mari, lui qui a soutenu tous mes projets, même quand l'aventure n'était pas à son goût. Et merci à mon fils, ma « lumière précieuse » (*comme son nom le désigne*), dont chaque sourire m'emporte dans un monde de merveilles.

Et encore une fois, merci à vous tous d'avoir vécu ce beau rêve avec moi.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	vii
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	xv
LISTE DES TABLEAUX.....	xvi
LISTE DES FIGURES.....	xxiv
LISTE DES ANNEXES.....	xxxiii
INTRODUCTION.....	1
Chapitre I : L'OS HYOÏDE ET SES RELATIONS AVEC LES VOIES AÉRIENNES SUPÉRIEURES (VAS): NOTIONS PRÉLIMINAIRES.....	6
1. Rappels ontogéniques.....	7
1.1. Embryologie et développement de l'os hyoïde.....	7
1.1.1. Origine embryologique.....	7
1.1.2. Formation et développement de l'os hyoïde.....	8
1.2. Embryologie et développement des voies aériennes supérieures (VAS).....	9
1.2.1. Formation du tube digestif primitif.....	9
1.2.2. Clivage de l'intestin céphalique.....	10
2. Rappels anatomiques.....	10
2.1. Anatomie de l'os hyoïde.....	10
2.2. Anatomie des voies aériennes supérieures (VAS).....	12
2.2.1. Pharynx.....	13
2.2.2. Larynx.....	14
2.3. Relations anatomo-fonctionnelles de l'os hyoïde.....	15
2.3.1. Rôle dans des fonctions oro-pharyngées.....	15

2.3.2. Relation de l'os hyoïde avec la mandibule	17
2.3.3. Relation fonctionnelle avec la colonne vertébrale	18
3. Revue de la littérature concernant l'étude de l'os hyoïde et des VAS	18
3.1. Dimensions et morphologie de l'os hyoïde	18
3.1.1. Méthodes d'étude	18
3.1.2. Taille et forme de l'os hyoïde.....	21
3.1.3. Influence des paramètres biologiques.....	23
3.2. Morphologie des voies aériennes supérieures (VAS)	28
3.2.1. Méthodes d'étude	28
3.2.2. Influence des paramètres biologiques.....	30
3.3. Position de l'os hyoïde.....	34
3.3.1. Influence des paramètres biologiques.....	34
3.3.2. Influence de la typologie faciale	37
3.4. Relation entre la position de l'os hyoïde et la taille des VAS	39
4. L'os hyoïde en paléanthropologie	39
4.1. Aspects phylogéniques	39
4.1.1. Origine du squelette viscéral	40
4.1.2. Descente de l'os hyoïde et du larynx chez l'Homme	40
4.2. L'os hyoïde dans les études paléanthropologiques	43
4.2.1. Étude du rôle de l'os hyoïde dans l'évolution du langage	43
4.2.2. Détermination du sexe et de l'âge.....	44
5. Conclusion : état de l'art et objectifs	45
5.1. État de l'art	45
5.2. Objectifs.....	45

Chapitre II : MATÉRIELS et MÉTHODES.....	47
1. Matériels	48
1.1. Justification de l'utilisation des CBCT	48
1.1.1. Critères de choix du matériel d'étude	48
1.1.2. Caractéristiques des CBCT	49
1.1.3. Origines des collections de CBCT	52
1.2. Échantillons d'étude : constitution et description	53
1.2.1. Critères d'inclusion et d'exclusion	53
1.2.2. Description des échantillons étudiés.....	55
2. Protocoles d'études	57
2.1. Présentation générale	57
2.2. Protocole pour l'étude tridimensionnelle	58
2.2.1. Logiciel de traitement des données CBCT	58
2.2.2. Protocole de segmentation des structures concernées.....	59
2.2.3. Définition des stades de fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde.	68
2.2.4. Mesures en 3D	69
2.3. Etude en 2D de la position de l'os hyoïde et de la typologie faciale sur les téléradiographies	79
2.3.1. Justification d'une étude en 2D	79
2.3.2. Choix du logiciel de mesure 2D: 3S Imaging.....	80
2.3.3. Protocole de mesure.....	81
3. Analyse statistique	93
3.1. Fiabilité des mesures.....	93
3.1.1. Variables étudiées et origines possibles des erreurs de mesure	93

3.1.2. Tests intra-observateur.....	94
3.2. Analyse descriptive des variables étudiées.....	96
3.2.1. Analyse descriptive	96
3.2.2. Dépistage des valeurs aberrantes.....	96
3.3. Tests de comparaison.....	96
3.3.1. Test de Wilcoxon.....	97
3.3.2. Test de Kruskal-Wallis et post-hoc.....	97
3.3.3. Test de Fisher exact	97
3.3.4. Analyse de covariance (ANCOVA) et graphiques de LOWESS (Locally Weighted Exponential Scatterplot Smoothing).....	97
3.4. Tests de relation entre variables.....	98
3.4.1. Corrélations.....	98
3.4.2. Analyses en composantes principales (ACP)	98
Chapitre III : RÉSULTATS.....	101
1. Fiabilité des mesures	102
1.1. Fiabilité des mesures en 3D	102
1.1.1. Mesures de l'os hyoïde	102
1.1.2. Mesures des VAS.....	104
1.2. Fiabilité des mesures 2D	107
1.2.1. Évaluation des types faciaux.....	107
1.2.2. Position de l'os hyoïde	108
2. Dimensions et morphologie de l'os hyoïde	109
2.1. Caractéristiques dimensionnelles	109
2.1.1. Analyse descriptive	109

2.1.2. Influence des paramètres biologiques.....	109
2.2. Caractéristiques morphologiques de l'os hyoïde	134
2.2.1. Variables de description de la morphologie de l'os hyoïde.....	134
2.2.2. Analyse descriptive des variables	135
2.2.3. Influence des paramètres biologiques.....	138
2.2.3. Asymétrie de l'os hyoïde.....	150
2.2.4. Fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde.....	152
2.3. Relations entre les dimensions et la morphologie de l'os hyoïde et celles des VAS	159
2.3.1. Restriction de l'échantillon étudié.....	159
2.3.2. Caractéristiques dimensionnelles des VAS	162
2.3.3. Analyse de la morphologie des VAS.....	185
2.3.4. Relations dimensionnelles et morphologiques entre les VAS et l'os hyoïde	191
2.4. Étude de la position de l'os hyoïde	194
2.4.1. Analyse descriptive des variables de position	194
2.4.2. Influence des facteurs biologiques	195
2.4.3. Relations entre la position de l'os hyoïde et les dimensions des VAS.....	200
2.4.4. Synthèse des observations sur la position de l'os hyoïde	201
3. Incidences de la typologie faciale	202
3.1. Répartition des différents types faciaux dans l'échantillon étudié.....	202
3.1.1. Typologie sagittale	202
3.1.2. Typologie verticale	204
3.2. Mesures faciales dans les différents types faciaux.	205
3.2.1. Mesures faciales sagittales	205
3.2.2. Mesures faciales verticales et transversales	206

3.2.3. Variations selon le sexe et l'âge des dimensions faciales.....	207
3.3. Influence de la typologie faciale sagittale.....	208
3.3.1. Influence sur les dimensions des VAS.....	208
3.3.2. Influence sur les dimensions de l'os hyoïde	210
3.3.3. Influence sur la position de l'os hyoïde	212
3.3.4. Synthèse de l'incidence de la typologie sagittale	214
3.4. Influence de la typologie faciale verticale.....	214
3.4.1. Influence sur les dimensions des VAS.....	214
3.4.2. Influence sur les dimensions de l'os hyoïde	216
3.4.3. Influence sur la position de l'os hyoïde	217
3.4.4. Synthèse de l'incidence des types faciaux verticaux	219
3.5. Influence des dimensions faciales transversales	219
3.5.1. Corrélations des mesures des VAS	219
3.5.2. Corrélations entre les dimensions de l'os hyoïde et les largeurs faciales	220
3.6. Analyse globale de l'influence de la typologie faciale.....	220
3.6.1. ACP des dimensions des VAS	222
3.6.2. ACP des dimensions de l'os hyoïde.....	223
3.6.3. ACP de position horizontale de l'os hyoïde	224
3.6.4. ACP de la position verticale de l'os hyoïde	226
Chapitre IV : DISCUSSION.....	229
1. Biodiversité de l'os hyoïde : apport de notre étude.....	230
1.1. Les dimensions de l'os hyoïde et leur variation selon l'âge, le sexe, la population.....	230
1.1.1. Aspects méthodologiques	230
1.1.2. Variations des dimensions de l'os hyoïde avec l'âge	233

1.1.3. La taille de l'os hyoïde et le dimorphisme sexuel	237
1.1.4. Taille de l'os hyoïde et populations	238
1.2. Variations de forme de l'os hyoïde et classification	241
1.2.1 Remarques sur l'approche analytique choisie	241
1.2.2. Proposition d'une nouvelle classification	242
1.2.3. Application de la classification dans l'analyse des variations morphologiques de l'os hyoïde	246
1.2.4. Fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde : analyse des influences biologiques.....	252
1.3. La position de l'os hyoïde et ses variations.....	254
1.3.1. Position de l'os hyoïde et dimorphisme sexuel	254
1.3.2. La descente de l'os hyoïde de l'enfant à l'adulte.....	258
1.4. Biodiversité de l'os hyoïde et implications en anthropologie biologique.....	259
2. Les relations entre l'os hyoïde et les VAS	261
2.1. Relations entre les dimensions de l'os hyoïde et celles de l'oropharynx	261
2.1.1. Corrélations significatives entre l'os hyoïde et la coupe inférieure de l'oropharynx	261
2.1.2. Évolution dimensionnelle similaire de l'os hyoïde et des VAS	261
2.1.3. Diagnostic et thérapeutique	262
2.2. Relations entre la position de l'os hyoïde et les dimensions des VAS	263
2.2.1 Dimensions des VAS et position de l'os hyoïde	264
2.2.2. Modifications dimensionnelles des VAS suite au changement de position de l'os hyoïde	265
3. L'os hyoïde et les VAS dans les différents types faciaux.	266
3.1. Incidence de la typologie faciale sagittale	267

3.2. Incidence de la typologie faciale verticale	271
CONCLUSIONS et PERSPECTIVES.....	277
BIBLIOGRAPHIE	283
ANNEXES	312

LISTE DES ABRÉVIATIONS

- 2D** : bidimensionel(le)(s) – deux dimensions
3D : tridimensionel(le)(s) – trois dimensions
ACP : Analyse en composantes principales
ANCOVA : Analyse de covariance
C1 : première vertèbre cervicale
C2 : deuxième vertèbre cervicale
C3 : troisième vertèbre cervicale
C4 : quatrième vertèbre cervicale
CBCT : Cone Beam Computed Tomography
CCC : coefficients de concordance de corrélation
Cf : confer
DICOM : Digital Imaging and Communication in Medicine
eg. : exempla gratia
ENA : Épine nasale antérieure
ENP : Épine nasale postérieure
FMA : Francfort mandibular plan angle
Gn : Gnathion
Go : Gonion
HMH : Half-Maximum Height
IRM : Imagerie par résonance magnétique
LOWESS : Locally Weighted Exponential Scatterplot Smoothing
Me : Menton
Na : Nasion
NHLBI : National Heart, Lung, and Blood Diseases Institute
Pog : Pogonion
Po : Porion
Rgn : Rétrogonion
R : coefficient de corrélation
TDM : tomodensitométrie
TIVMI® : Treatment and Increased Vision for Medical Imaging
VAS : Voies aériennes supérieures

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II. 1 : Composition de l'échantillon total par sexe, par groupe d'âge et par population.	56
Tableau II. 2 : Composition de l'échantillon réduit par sexe, par groupe d'âge et par population	56
Tableau II. 3 : Résumé des protocoles de mesures	57
Tableau II. 4 : Résumé des étapes de travail sous TIVMI® pour la reconstruction 3D de l'os hyoïde	61
Tableau II. 5 : Noms des "bounding box" partielles pour les parties concernées	64
Tableau II. 6 : Stades de fusion de l'os hyoïde	68
Tableau II. 7 : Définitions des 5 points initiaux de l'os hyoïde.....	70
Tableau II. 8 : Plans et points créés à partir des points initiaux	72
Tableau II. 9 : Mesures des dimensions de l'os hyoïde effectuées.....	74
Tableau II. 10 : Mesures des VAS effectuées	75
Tableau II. 11 : Points crânio-faciaux sur téléradiographie de profil.....	82
Tableau II. 12 : Points médians sur téléradiographie de face	83
Tableau II. 13 : Points latéraux sur téléradiographie de face	83
Tableau II. 14 : Points sur l'os hyoïde sur téléradiographie de profil	84
Tableau II. 15 : Plans et lignes utilisés dans les mesures céphalométriques.....	85
Tableau II. 16 : Mesures des angles pour l'évaluation de la classe squelettique	86
Tableau II. 17 : Mesures des dimensions faciales sagittales	87
Tableau II. 18 : Mesures des angles pour l'évaluation du type facial vertical.....	87
Tableau II. 19 : Valeurs des angles mesurés pour la classification de la typologie verticale	89
Tableau II. 20 : Mesures sur téléradiographie de face	89
Tableau II. 21 : Mesures de posture céphalique.....	90
Tableau II. 22 : Mesures de la position horizontale de l'os hyoïde	91
Tableau II. 23 : Mesures de la position verticale de l'os hyoïde	92
Tableau II. 24 : Résumé des tests intra-observateur	95
Tableau II. 25 : Degré de fiabilité défini par Lin (1989)	95

Tableau II. 26 : Synthèse des tests statistiques pour les mesures 3D	98
Tableau II. 27 : Synthèse des tests statistiques pour les mesures 2D	99
Tableau III. 1 : Résultats des tests de fiabilité des mesures intra-observateur des dimensions de l'os hyoïde	102
Tableau III. 2 : CCC des mesures des VAS lors du 1 ^{er} test intra-observateur	104
Tableau III. 3 : CCC de la deuxième série de tests intra-observateur des mesures des VAS.....	106
Tableau III. 4 : CCC des mesures de typologie faciale entre deux séries intra-observateur	107
Tableau III. 5 : Différences brutes de la variable ANB entre les deux séries de mesures.	107
Tableau III. 6 : CCC entre deux séries intra-observateur des mesures de typologie frontale....	108
Tableau III. 7 : CCC entre deux séries intra-observateur des mesures de position de l'os hyoïde	108
Tableau III. 8 : Analyse descriptive des dimensions de l'os hyoïde	109
Tableau III. 9 : Différences entre sexes chez les enfants (échantillon total)	109
Tableau III. 10 : Différences entre sexes des dimensions de l'os hyoïde chez les enfants français	110
Tableau III. 11 : Différences entre sexes des dimensions de l'os hyoïde chez les enfants vietnamiens.....	110
Tableau III. 12 : Différences entre sexes des dimensions de l'os hyoïde chez les adultes : échantillon total.....	111
Tableau III. 13 : Différences entre sexes des dimensions de l'os hyoïdes chez les adultes : échantillon de population française	111
Tableau III. 14 : Différences entre sexes des dimensions de l'os hyoïdes chez les adultes : échantillon de population vietnamienne.....	112
Tableau III. 15 : Comparaison des dimensions de l'os hyoïde entre adultes français et vietnamiens	113
Tableau III. 16 : Analyse descriptif des dimensions de l'os hyoïde chez les enfants de 7 à 16 ans par groupes d'âges.....	115
Tableau III. 17 : Modifications des dimensions entre les groupes d'âge chez les enfants	116

Tableau III. 18 : Comparaison entre sexes des dimensions de l'os hyoïde dans chaque groupe d'âge.....	118
Tableau III. 19 : Moyenne des dimensions de l'os hyoïde par groupe d'âge dans chaque population.....	122
Tableau III. 20 : Moyenne des dimensions de l'os hyoïde des filles par groupe d'âge dans chaque population.....	123
Tableau III. 21 : Moyenne des dimensions de l'os hyoïde des garçons par groupe d'âge dans chaque population	123
Tableau III. 22 : Coefficients de corrélations avec l'âge	124
Tableau III. 23 : Comparaison des dimensions de l'os hyoïde chez les enfants et chez les adultes	126
Tableau III. 24 : Influence de l'âge dans le sexe féminin : analyse par groupe d'âge (< 10 ans, 15-16 ans et adultes).....	127
Tableau III. 25 : Influence de l'âge dans le sexe masculin : analyse par groupe d'âge (< 10 ans, 15-16 ans et adultes).....	127
Tableau III. 26 : Augmentations dimensionnelles de l'os hyoïde entre enfants et adultes filles et garçons de chaque population française et vietnamienne.	129
Tableau III. 27 : Coefficients de corrélation des dimensions de l'os hyoïde avec l'âge chez les adultes.....	133
Tableau III. 28 : Résultats globaux des mesures de la morphologie de l'os hyoïde	135
Tableau III. 29 : Comparaison des variables morphologiques de l'os hyoïde selon le sexe chez les enfants et les adultes.....	138
Tableau III. 30 : Comparaison entre enfants et adultes des variables de morphologie.....	139
Tableau III. 31 : Analyse descriptive des variables morphologiques pour chaque tranche d'âge	140
Tableau III. 32 : Comparaison entre 3 périodes : petit enfant, adolescent et adulte	140
Tableau III. 33 : Comparaisons entre enfants et adultes la fréquence des formes extrêmes de l'os hyoïde	141

Tableau III. 34 : Comparaison entre enfants et adultes des fréquences des rapports Larg totale / Long totale	141
Tableau III. 35 : Valeurs des variables morphologiques des deux échantillons d'enfants français et vietnamiens.....	143
Tableau III. 36 : Valeurs des variables morphologiques des deux échantillons adultes français et vietnamiens.....	143
Tableau III. 37 : Asymétrie de l'os hyoïde chez les enfants et adultes	152
Tableau III. 38 : Asymétrie de l'os hyoïde en fonction du sexe	152
Tableau III. 39 : Répartition des stades de fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde.	152
Tableau III. 40 : Analyse descriptives des âges pour chaque stade de fusion	153
Tableau III. 41 : Comparaison des âges pour les différents stades de fusion par le test t de Student	153
Tableau III. 42 : Répartition des stades de fusion dans chaque tranche d'âge de l'échantillon total	154
Tableau III. 43 : Comparaison de fréquence de fusion entre deux groupes d'âge 20-29 ans et 40-49 ans.....	154
Tableau III. 44 : Comparaison des fréquences des stades de fusions entre hommes et femmes de 20 à 39 ans	155
Tableau III. 45 : Stades de fusion de l'os hyoïde selon l'âge chez les femmes et chez les hommes.....	156
Tableau III. 46 : Stades de fusion par tranche d'âge dans les populations française (Fr) ou vietnamienne (V).....	157
Tableau III. 47 : Analyse descriptive des dimensions des VAS.....	162
Tableau III. 48 : Comparaison des moyennes des dimensions des VAS entre hommes et femmes	163
Tableau III. 49 : Comparaison des dimensions des VAS entre hommes et femmes dans chaque population.....	164
Tableau III. 50 : Comparaison des dimensions des VAS dans les deux populations chez les adultes (test de Wilcoxon).....	166

Tableau III. 51 : Comparaison des dimensions des VAS entre filles et garçons dans l'échantillon total (test de Wilcoxon)	167
Tableau III. 52 : Comparaison des dimensions des VAS entre filles et garçons de chaque population (test de Wilcoxon).	168
Tableau III. 53 : Comparaison des dimensions des VAS par groupe d'âge dans l'échantillon total	170
Tableau III. 54 : Comparaison des dimensions des VAS entre filles et garçons de chaque groupe d'âge.....	172
Tableau III. 55 : Pourcentages d'augmentation des VAS entre les périodes d'âge étudiées : ...	173
Tableau III. 56 : Comparaison des modifications dimensionnelles des VAS de l'enfant à l'adulte selon le sexe.....	174
Tableau III. 57 : Comparaison de l'importance des modifications dimensionnelles des VAS de l'enfance à l'âge adulte entre les Vietnamiens et Français.	175
Tableau III. 58 : Analyse descriptive des rapports largeur/longueur des coupes des VAS.....	185
Tableau III. 59 : Fréquences des différentes formes en fonction de la coupe étudiée chez les enfants et les adultes	186
Tableau III. 60 : Comparaison des différents rapports largeur/longueur des coupes entre les deux sexes.....	187
Tableau III. 61 : Répartition des différentes formes en fonction du sexe chez les enfants	188
Tableau III. 62 : Répartition des différentes formes en fonction du sexe chez les adultes.....	188
Tableau III. 63 : Comparaison des rapports largeur/longueur des différentes coupes entre enfants et adultes	189
Tableau III. 64 : Comparaison des rapports largeur / longueur des coupes entre populations.	190
Tableau III. 65 : Corrélation entre les dimensions VAS et les dimensions de l'os hyoïde chez les enfants et chez les adultes.....	192
Tableau III. 66 : Analyse descriptive des variables déterminant la position horizontale de l'os hyoïde.	194
Tableau III. 67 : Analyse descriptive des variables déterminant la position verticale de l'os hyoïde.	195

Tableau III. 68 : Position de l'os hyoïde par rapport à la ligne Me-C3 dans l'échantillon total..	195
Tableau III. 69 : Différence d'inclinaison des grandes cornes droite et gauche chez les enfants et adultes.....	195
Tableau III. 70 : Comparaison de la position horizontale de l'os hyoïde entre sexes dans l'échantillon total et dans les sous-groupes enfants et adultes	196
Tableau III. 71 : Comparaison de la position verticale de l'os hyoïde entre sexes dans l'échantillon total et les sous- groupes enfants et adultes.....	196
Tableau III. 72 : Comparaison de la position de l'os hyoïde entre enfants et adultes, dans l'échantillon total et dans les deux sexes.	198
Tableau III. 73 : Comparaison de la position de l'os hyoïde par rapport à la ligne Me-C3 chez les enfants et chez les adultes.....	199
Tableau III. 74 : Variations de posture de la tête en fonction du sexe et de l'âge	199
Tableau III. 75 : Corrélations entre les variables de position horizontale de l'os hyoïde et les dimensions sagittales des VAS.....	200
Tableau III. 76 : Corrélations entre les variables de position verticale de l'os hyoïde et les dimensions des VAS	201
Tableau III. 77: Répartition des types faciaux sagittaux dans l'échantillon total et les sous groupes d'enfants et d'adultes	203
Tableau III. 78 : Répartition des types faciaux verticaux dans l'échantillon total et les sous-groupes d'enfants et d'adultes.	204
Tableau III. 79 : Mesures faciales sagittales dans les classes I, II et III (E : Enfant; A : Adulte)...	205
Tableau III. 80 : Mesures faciales verticales en fonction de la divergence squelettique	206
Tableau III. 81 : Comparaison des dimensions faciales sagittales dans les échantillons d'enfants ou d'adultes en fonction du sexe.....	207
Tableau III. 82 : Comparaison des dimensions faciales verticales et transversales dans les échantillons d'enfants ou d'adultes en fonction du sexe	207
Tableau III. 83 : Comparaison des dimensions faciales sagittales chez les enfants et les adultes	208

Tableau III. 84 : Comparaison des dimensions faciales verticales et transversales chez les enfants et les adultes.....	208
Tableau III. 85 : Comparaison des dimensions des VAS en fonction de la classe squelettique chez les enfants et les adultes.	209
Tableau III. 86 : Coefficients de corrélation entre la distance Menton-Colonne vertébrale et les dimensions de l'oropharynx	210
Tableau III. 87 : Comparaison des dimensions de l'os hyoïde en fonction de la classe squelettique dans les groupes d'enfants et d'adultes	211
Tableau III. 88 : Coefficients de corrélation entre les dimensions de l'os hyoïde et les mesures faciales sagittales	211
Tableau III. 89 : Comparaison des positions de l'os hyoïde dans les classe I, II et III chez les enfants et les adultes.....	213
Tableau III. 90 : Coefficients de corrélation entre les mesures de position horizontale de l'os hyoïde et les mesures faciales sagittales.....	214
Tableau III. 91 : Comparaison des dimensions des VAS en fonction de la divergence chez les enfants et les adultes.....	215
Tableau III. 92 : Coefficients de corrélation des dimensions des VAS avec les mesures faciales verticales.....	216
Tableau III. 93 : Comparaison des dimensions de l'os hyoïde en fonction de la divergence chez les enfants et les adultes.....	216
Tableau III. 94 : Comparaison des positions de l'os hyoïde dans les trois types faciaux verticaux chez le groupe d'enfants et d'adultes.....	218
Tableau III. 95 : Coefficients de corrélation entre les variables de position verticale de l'os hyoïde et les mesures faciales verticales.....	219
Tableau III. 96 : Coefficients de corrélation entre les dimensions des VAS et les largeurs faciales chez les enfants.....	219
Tableau III. 97: Coefficients de corrélation entre les dimensions de l'os hyoïde et la largeur faciale bi-goniale.	220
Tableau III. 98 : Synthèse des valeurs de NP MANOVA des ACP	221

Tableau IV. 1 : Comparaison du protocole utilisé avec ceux d'études similaires.....	231
Tableau IV. 2 : Comparaison des résultats concernant la longueur des grandes cornes de notre étude et de celle de Reed (1993).....	234
Tableau IV. 3 : Comparaison des dimensions rapportées dans notre étude avec celles des études de Ito et al. (2012), Fakhry et al (2013).	234
Tableau IV. 4 : Comparaison des dimensions de l'os hyoïde selon Ito et al avec les autres études	235
Tableau IV. 5 : Diagnose du sexe par les fonctions discriminantes.	237
Tableau IV. 6 : Mesures du corps de l'os hyoïde et comparaisons entre sexes.	238
Tableau IV. 7 : Dimensions de l'os hyoïde de sujets caucasiens et différences en fonction du sexe trouvées dans notre étude et celle de Fakhry et al. (2013).....	239
Tableau IV. 8 : comparaison des dimensions des os hyoïde asiatiques	240
Tableau IV. 9 : Comparaison des dimensions des os hyoïdes entre populations :.....	240
Tableau IV. 10 : Coefficients de corrélation des variables morphologiques de l'os hyoïde entre elles	243
Tableau IV. 11 : Classification des formes de l'os hyoïde proposée	245
Tableau IV. 12 : Comparaison de la répartition des différentes formes d'os hyoïde selon la population et le sexe.....	250
Tableau IV. 13 : Nombre d'asymétrie des grandes cornes dans les différentes formes de l'os hyoïde	251
Tableau IV. 14 : Comparaison des rapports entre la position horizontale de l'os hyoïde et les dimensions faciales sagittales entre sexes	255
Tableau IV. 15 : Comparaison des rapports entre la position verticale de l'os hyoïde et les dimensions faciales verticales entre sexes	256
Tableau IV. 16 : comparaison des dimensions de l'os hyoïde ancien et actuel	260

LISTE DES FIGURES

Figure I. 1 : Tube neural avant (a) et après (b) le 25 ^{ème} jour	7
Figure I. 2 : Origine des cellules du squelette crânio-facial (a) et devenir du cartilage de Meckel (b)	8
Figure I. 3 : Anatomie de l'os hyoïde : vues antérieure (a) et postérieure (b). 1 : le corps ; 2 : la grande corne	12
Figure I. 4 : Différentes parties des VAS	12
Figure I. 5 : Position relative de l'os hyoïde (a) et principaux muscles supra et infra hyoïdiens (b)	17
Figure I. 6 : Méthodes de mesure de l'os hyoïde	19
Figure I. 7 : Reconstruction 3D de l'os hyoïde et comparaison morphométrique entre femmes (rouge) et hommes (bleu)	20
Figure I. 8 : Les formes U, H, B, V et D de l'os hyoïde d'après Papadopoulos et al. (1988)	22
Figure I. 9 : Les différentes configurations du processus glosso-hyal (d'après Ito et al. 2012)	22
Figure I. 10 : Différences de divergence des grandes cornes de l'os hyoïde d'après Ito et al. (2012)	23
Figure I. 11 : Différents stades de fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde	26
Figure I. 12 : Forme et taille de l'os hyoïde masculin (a) et féminin (b) d'après Parsons (1909) .	27
Figure I. 13 : Mesures des VAS fréquemment utilisées en céphalométrie (d'après Freitas et al. 2006)	29
Figure I. 14 : Études tomодensitométriques des VAS	29
Figure I. 15 : Mesures de position de l'os hyoïde proposées par différents auteurs (d'après Stepovich 1992)	34
Figure I. 16 : Diagramme illustrant les différences de morphologie faciale et de position de l'os hyoïde entre les groupes A (20-29 ans) et B (30-49 ans).	36
Figure I. 17 : Position de l'os hyoïde dans les classes I et III, d'après Adamidis et Spyropoulos (1992)	38
Figure I. 18 : Passage de l'air et des aliments	40
Figure I. 19 : Le conduit vocal supralaryngé (SVT) horizontal et vertical	42

Figure I. 20 : Le rapport SVT horizontal et vertical chez les chimpanzés (gauche) et chez l'Homme (droite)	42
Figure I. 21 : Comparaison de la hauteur du corps et de la longueur de l'os hyoïde chez l'Homme actuel et les fossiles.	43
Figure I. 22 : Reconstruction du conduit vocal du sujet masculin de l'Homme moderne (a), d'un Néanderthalien (La Chapelle-aux-Saints) (b) et d'un spécimen d'Atapuerca (c) (Böe et al. 2011)	44
Figure II. 1 : Représentation schématique de la technique d'acquisition de l'image avec un appareil à TDM (A) et avec un CBCT (B). (Adaptée de Kau et al. 2005).....	50
Figure II. 2 : Reconstructions multiplanaires avec projection d'intensité maximale	52
Figure II. 3 : Capture d'écran de l'exportation des fichiers DICOM à partir des fichiers JPEG lossless initiaux.....	54
Figure II. 4 : Diagramme du nombre de sujets dans les différents échantillons de l'étude	55
Figure II. 5 : Graphique de répartition par âge et par sexe des deux échantillons d'enfants ;	56
Figure II. 6 : Graphique de répartition par âge et sexe des deux échantillons d'adultes.....	57
Figure II. 7 : Capture d'écran de l'interface de travail	59
Figure II. 8 : Mesure de la densité par le biais d'un profil HMH : les niveaux de densité de l'os, des tissus mous et de l'air (adaptation de Guyomarc'h 2011).....	60
Figure II. 9 : Capture de l'écran de la commande de chargement de l'examen.....	61
Figure II. 10 : Capture d'écran de l'étape de création de la bounding box	62
Figure II. 11 : Choix du seuil entre l'os hyoïde et les tissus.....	63
Figure II. 12 : Reconstruction dans un premier temps de l'os hyoïde entier	63
Figure II. 13 : Reconstruction partielle de l'extrémité postérieure de la grande corne gauche ..	64
Figure II. 14 : Les trois étages du pharynx	65
Figure II. 15 : Mesure de la partie supérieure du nasopharynx par Kim et al (2010), Zheng et al (2014), Iwasaki (2009).....	65
Figure II. 16 : Repères des étages des VAS sur la coupe sagittale médiane	67
Figure II. 17 : "Bounding box" totale des VAS.....	67

Figure II. 18 : Vérification des VAS segmentées coupe par coupe	67
Figure II. 19 : VAS reconstruites.....	67
Figure II. 20 : Évaluation du stade de fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde sur les reconstructions 3D et les coupes axiales.....	69
Figure II. 21 : Les 5 points de repères utilisés dans l'étude de Fakhry et al. (2013).....	70
Figure II. 22 : Points initiaux de l'os hyoïde	71
Figure II. 23 : Vérification des points choisis sur les coupes axiales.....	72
Figure II. 24 : Plans et points créés	73
Figure II. 25 : Méthode de mesures des différentes dimensions de l'os hyoïde.....	73
Figure II. 26 : Découpage des "bounding box" des étages du pharynx	76
Figure II. 27 : Mesures des largeur et longueur des coupes selon différents auteurs	77
Figure II. 28 : Mesure des largeurs et des longueurs des coupes.....	78
Figure II. 29 : Mesure des hauteurs des étages du pharynx.....	79
Figure II. 30 : Obtention de radiographie de profil par augmentation de l'épaisseur	80
Figure II. 31 : Points céphalométriques sur la téléradiographie de profil.....	81
Figure II. 32 : Identification des points postérieurs des grandes cornes sur la radiographie et sur la coupe sagittale	84
Figure II. 33 : Plans et lignes de référence utilisés dans notre étude.....	85
Figure II. 34 : Mesures permettant la détermination des types faciaux sagittaux et verticaux... 88	
Figure II. 35 : Points céphalométriques et mesures sur la téléradiographie frontale.....	89
Figure II. 36 : Mesure de l'indice facial (If).....	90
Figure II. 37 : Mesures de l'orientation de la tête par rapport à C2 et de courbure cervicale.....	91
Figure II. 38 : Mesures de la position horizontale de l'os hyoïde	92
Figure II. 39 : Mesures de la position verticale de l'os hyoïde.....	93
Figure III. 1 : Différences brutes de la variable "Larg totale" entre les deux séries de mesures chez les enfants.....	103
Figure III. 2 : Différences brutes de la variable "Long totale" entre les deux séries de mesures chez les enfants.....	103

Figure III. 3 : Différences brutes de la variable "Hy Angle" entre les deux séries de mesures chez les enfants.....	103
Figure III. 4 : Graphique de Bland et Altman et CCC de la mesure Larg Cm des VAS	105
Figure III. 5 : Graphique de Bland et Altman et CCC de la mesure Longueur de la coupe intermédiaire des VAS	105
Figure III. 6 : Identification de la coupe intermédiaire	106
Figure III. 7 : "Boxplot" de largeur totale de l'os hyoïde des hommes et des femmes français et vietnamiens.....	113
Figure III. 8 : "Boxplot" de longueur totale de l'os hyoïde des hommes et des femmes français et vietnamiens.....	113
Figure III. 9 : Répartition des enfants de 7-16 ans par groupe d'âge et par sexe (a) ou par population(b).	114
Figure III. 10 : Graphiques des modifications des largeur totale (a) et antérieure (b) de 7 à 16 ans	115
Figure III. 11 : Graphiques des modifications des longueur totale (a) et longueur antérieure (b) de 7 à 16 ans	116
Figure III. 12 : Courbes des moyennes des variables de largeur et de longueur en fonction des groupes d'âge.....	117
Figure III. 13 : ANCOVA de la variable Largeur totale de l'os hyoïde :.....	119
Figure III. 14 : ANCOVA de la variable Largeur antérieure de l'os hyoïde :	119
Figure III. 15 : ANCOVA de la variable Longueur totale de l'os hyoïde :.....	120
Figure III. 16 : ANCOVA de la variable Longueur des grandes cornes :	121
Figure III. 17 : ANCOVA de la variable de Longueur antérieure de l'os hyoïde :	121
Figure III. 18 : Graphiques ANCOVAS en fonction du sexe et en fonction de la population	125
Figure III. 19 : Graphiques ANCOVAS en fonction du sexe et en fonction de la population	125
Figure III. 20 : Graphique LOWESS de la variable Larg totale	130
Figure III. 21 : Graphique LOWESS de la variable Larg ant	131
Figure III. 22 : Graphique LOWESS de la variable Long totale	131
Figure III. 23 Graphique LOWESS de la variable Longueur antérieure	132

Figure III. 24 : Variables exprimant la morphologie de l'os hyoïde	134
Figure III. 25 : Histogramme des fréquences des valeurs de l'angle hyoïde (a) et de l'angle entre grandes cornes (b)	136
Figure III. 26 : Histogramme des fréquences des valeurs du rapport largeur antérieure/largeur totale dans l'échantillon total	136
Figure III. 27 : Histogramme des fréquences des valeurs du rapport largeur/longueur dans l'échantillon total	137
Figure III. 28 : Histogramme des fréquences des valeurs du rapport Longueur antérieure/ Longueur totale.....	138
Figure III. 29 : Fréquence des différentes valeurs du rapport Larg totale / Long totale chez les enfants et les adultes.....	141
Figure III. 30 : Comparaison de la fréquence des rapports largeur antérieure/largeur totale chez les enfants et les adultes	142
Figure III. 31 : Comparaison des différentes valeurs du rapport largeur/longueur dans les 2 échantillons français et vietnamiens d'enfants et d'adultes	144
Figure III. 32 : Comparaison des fréquences des différentes valeurs du rapport largeur antérieure / largeur totale chez les enfants français et vietnamiens.....	145
Figure III. 33 : Comparaison des fréquences des différentes valeurs du rapport largeur antérieure / largeur totale chez les adultes français et vietnamiens.....	145
Figure III. 34 : ANCOVA de l'angle des grandes cornes chez les Français (a) et Vietnamiens (b)	146
Figure III. 35 : LOWESS de l'angle des grandes cornes chez les Français (a) et Vietnamiens (b)	146
Figure III. 36 : ANCOVA de rapport Larg totale / Long totale chez les Français (a) et Vietnamiens (b)	147
Figure III. 37 : LOWESS de rapport Larg totale / Long totale chez les Français (a) et Vietnamiens (b)	147
Figure III. 38 : ANCOVA de rapport Larg ant / Larg totale chez les Français (a) et Vietnamiens (b)	148
Figure III. 39 : LOWESS de rapport Larg ant / Larg totale chez les Français (a) et Vietnamiens (b)	148

Figure III. 40 : ANCOVA de rapport Long ant / Long totale chez les Français (a) et Vietnamiens (b)	149
Figure III. 41 : LOWESS de rapport Long ant / Long totale chez les Français (a) et Vietnamiens (b)	149
Figure III. 42 : Mesures de longueur des grandes cornes et longueur hyoïde pour l'évaluation de la symétrie.....	150
Figure III. 43 : Nombre d'asymétries des deux mesures de longueur dans l'échantillon total ..	151
Figure III. 44 : Graphique de KDE pour les longueurs latérales de l'os hyoïde et les longueurs des grandes cornes.....	151
Figure III. 45 : Fréquences des différents stades de fusion dans l'échantillon total (n=83).....	153
Figure III. 46 : Fréquence des différents stades de fusion chez les femmes et les hommes	155
Figure III. 47 : Comparaison des fréquences de la fusion bilatérale en fonction de l'âge chez les femmes et les hommes.....	156
Figure III. 48 : Absence de fusion en fonction de l'âge chez les femmes et les hommes de 20 à 39 ans.	157
Figure III. 49 : Répartition des différents stades de fusion chez les sujets de 20 à 39 ans dans les deux populations	158
Figure III. 50 : "Boxplots" et nuages de points montrant les valeurs et les sujets aberrants de la variable volume oropharynx.....	160
Figure III. 51 : Sélection de l'échantillon français pour l'étude des VAS.....	161
Figure III. 52 : Sélection de l'échantillon vietnamien pour l'étude des VAS	161
Figure III. 53 : Modifications de volume du nasopharynx et de l'oropharynx entre les tranches d'âge.....	170
Figure III. 54 : Modifications de largeur et longueur de la coupe inférieure de l'oropharynx entre les tranches d'âge.	171
Figure III. 55 : Graphiques d'ANCOVA du volume naso-pharynx chez les Français (a) ou les Vietnamiens (b).....	177
Figure III. 56 : Graphiques LOWESS du volume naso-pharynx chez les Français (a) et Vietnamiens (b).....	177

Figure III. 57 : Graphiques d'ANCOVA du volume oropharynx chez les Français (a) et Vietnamiens (b).....	178
Figure III. 58 : Graphiques de LOWESS du volume oropharynx chez les Français (a) et les Vietnamiens (b).....	178
Figure III. 59 : Graphiques d'ANCOVA de la surface de la coupe supérieure chez les Français (a) et Vietnamiens (b).....	179
Figure III. 60 : Graphiques LOWESS de la surface de la coupe supérieure chez les Français (a) et Vietnamiens (b).....	179
Figure III. 61 : ANCOVA de surface de la coupe inférieure chez les Français (a) et chez les Vietnamiens (b).....	181
Figure III. 62 : Graphiques de LOWESS de la surface de la coupe inférieure chez les Français (a) et chez les Vietnamiens (b)	181
Figure III. 63 : Graphiques d'ANCOVA de la hauteur du nasopharynx chez les Français (a) et Vietnamiens (b).....	182
Figure III. 64 : Graphiques de LOWESS de la hauteur du nasopharynx chez les Français (a) et Vietnamiens (b).....	182
Figure III. 65 : Graphiques d'ANCOVA de la hauteur de l'oropharynx chez les Français (a) et Vietnamiens (b).....	183
Figure III. 66 : Graphiques de LOWESS de la hauteur de l'oropharynx chez les Français (a) et Vietnamiens (b).....	183
Figure III. 67 : Différentes formes de la coupe supérieure	185
Figure III. 68 : Différentes formes de la coupe de surface minimale des VAS.....	186
Figure III. 69 : Fréquences des différentes formes de la coupe inférieure.....	187
Figure III. 70 : Fréquences des différentes formes de la coupe minimale	187
Figure III. 71 : Comparaison des fréquences des différentes formes de la coupe intermédiaire chez les enfants et les adultes	189
Figure III. 72 : Comparaison des fréquences des différentes formes de la coupe minimale chez les enfants et les adultes.....	189

Figure III. 73 : Comparaison des fréquences des différentes formes de la coupe supérieure chez les enfants et les adultes	190
Figure III. 74 : Comparaison des fréquences des différentes formes de la coupe inférieure chez les enfants et les adultes	190
Figure III. 75 : Graphique LOWESS de la variable Largeur de la coupe inférieure des VAS.....	193
Figure III. 76 : Rapports maxillo-mandibulaires dans les classes squelettiques I, II et III	203
Figure III. 77 : Caractéristiques des typologies verticales.....	204
Figure III. 78 : ACP des dimensions des VAS dans l'échantillon total	222
Figure III. 79 : ACP des dimensions de l'os hyoïde dans l'échantillon total.....	223
Figure III. 80 : ACP des mesures de la position horizontale de l'os hyoïde dans l'échantillon d'adulte	224
Figure III. 81 : ACP des mesures de la position horizontale de l'os hyoïde dans l'échantillon total	225
Figure III. 82 : ACP des mesures de la position verticale de l'os hyoïde dans l'échantillon adulte	226
Figure III. 83 : ACP des mesures de la position verticale de l'os hyoïde dans l'échantillon total	227
Figure IV. 1 : Mesures du corps de l'os hyoïde dans notre étude.	232
Figure IV. 2 : Mesures du corps de l'os hyoïde par Ito et al. (2012)	232
Figure IV. 3: Mesures effectuées sur l'os hyoïde dans l'étude de Reed (1993)	233
Figure IV. 4 : Schéma présentant les modifications de taille de l'os hyoïde du stade immature au stade adulte	236
Figure IV. 5 : Schéma des formes de l'os hyoïde en fonction des rapports.....	244
Figure IV. 6: Illustration des six formes de l'os hyoïde selon notre classification	245
Figure IV. 7 : Comparaison de la répartition des six formes de l'os hyoïde entre filles et garçons.	246
Figure IV. 8 : Comparaison de la répartition des formes de l'os hyoïde entre femmes et hommes.	247

Figure IV. 9 : Comparaison de la répartition des formes de l'os hyoïde entre les filles et les femmes	248
Figure IV. 10 : Comparaison de la répartition des formes de l'os hyoïde entre les garçons et les hommes	248
Figure IV. 11 : Comparaison des répartitions des formes de l'os hyoïde entre les enfants français et vietnamiens	249
Figure IV. 12 : Comparaison des répartitions des formes de l'os hyoïde entre les adultes français et vietnamiens	250
Figure IV. 13 : Os hyoïde dissymétrique, avec des grandes cornes présentant une orientation différente dans les plans sagittal et axial.....	252
Figure IV. 14 : Dimensions et forme de Kébara 2 (d'après Arensburg et al. 1989)	260
Figure IV. 15 : Téléradiographies en série longitudinale d'un sujet présentant une polyarthrite rhumatoïde depuis l'enfance, montrant une réponse positionnelle adaptative plus inférieure de l'os hyoïde suite au recul mandibulaire.....	265
Figure IV. 16 : Schéma résumé de la méthode d'analyse	267
Figure IV. 17 : VAS et os hyoïde dans les classes II (a) et classes III (b) squelettiques	269
Figure IV. 18 : Fréquence des différentes formes de la coupe inférieure de l'oropharynx chez les sujets en classes I, II et III squelettiques.	270
Figure IV. 19 : VAS et os hyoïde chez l' hypodivergent (a) et l'hyperdivergent (b).....	272
Figure IV. 20 : Position de l'os hyoïde chez l' hypodivergent (a) et l'hyperdivergent (b).....	273
Figure IV. 21 : Pourcentage des formes carrées et larges chez les sujets normodivergents, hypodivergents et hyperdivergents.....	274

LISTE DES ANNEXES

Annexe II. 1 : Commande TIVMI pour reconstruction de l'os hyoïde.....	313
Annexe II. 2 : Commande TIVMI pour reconstruction des VAS.....	314
Annexe II. 3 : Commande TIVMI pour des mesures de dimensions de l'os hyoïde.....	316
Annexe II. 4 : Commande TIVMI pour des mesures de dimensions des VAS.....	319
Annexe II. 5 : Table du coefficient de corrélation.....	320
Annexe III. 1 : Les corrélations entre les dimensions de l'os hyoïde et les dimensions des VAS chez les enfants.....	321
Annexe III. 2 : Les corrélations entre les dimensions de l'os hyoïde et les dimensions des VAS chez les adultes.....	322
Annexe III. 3 : ANCOVA des rapports des largeur/longueur de l'os hyoïde et de la coupe inférieure de l'oropharynx.....	323
Annexe III. 4 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les variables de position de l'os hyoïde chez les enfants.....	324
Annexe III. 5 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les variables de position de l'os hyoïde chez les adultes.....	325
Annexe III. 6 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales sagittales chez les enfants.....	326
Annexe III. 7 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales sagittales chez les adultes.....	327
Annexe III. 8 : Coefficients de corrélations entre les dimensions de l'os hyoïde et les dimensions faciales sagittales chez les enfants.....	328
Annexe III. 9 : Coefficients de corrélations entre les dimensions de l'os hyoïde et les dimensions faciales sagittales chez les adultes.....	329
Annexe III. 10 : Types faciaux sagittal et vertical chez les enfants.....	330
Annexe III. 11 : Types faciaux sagittal et vertical chez les adultes.....	331
Annexe III. 12 : Coefficients de corrélations entre les positions horizontales de l'os hyoïde et les dimensions faciale sagittale chez les enfants.....	332

Annexe III. 13 : Coefficients de corrélations entre les positions horizontales de l'os hyoïde et les dimensions faciales sagittales chez les adultes	333
Annexe III. 14 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales verticales chez les enfants	334
Annexe III. 15 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales verticales chez les adultes	335
Annexe III. 16 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales frontales chez les enfants	336
Annexe III. 17 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales frontales chez les adultes	337

INTRODUCTION

En Anthropologie biologique comme en Médecine, l'os hyoïde est resté longtemps peu connu. De petite taille, il est considéré au début du XXe siècle comme un simple vestige des deuxième et troisième arcs branchiaux, témoin d'une longue histoire de l'évolution des premiers Vertébrés à l'Homme (Delmas 1978). Pourtant, anatomiquement, l'os hyoïde est situé au cœur du carrefour aéro-digestif et donne insertion à de nombreux muscles intervenant dans la respiration, la phonation, la déglutition ; son rôle dans le déroulement physiologique ou physio-pathologique de ces fonctions n'est donc pas à négliger. L'action conjointe des muscles supra- et infra-hyoïdiens qui relie l'os hyoïde aux structures avoisinantes (la mandibule, les vertèbres cervicales, le larynx) détermine sa position mais peut aussi influencer sa forme et sa taille.

En médecine, les relations fonctionnelles de l'os hyoïde avec des voies aériennes supérieures (VAS) et leurs implications dans le diagnostic et le traitement des syndromes d'apnée obstructive du sommeil (SAOS), véritable problème de santé publique, sont des sujets d'actualité. S'il est possible d'établir des corrélations morphologiques entre ces deux entités anatomiques, les caractéristiques morphologiques et dimensionnelles de l'os hyoïde pourraient ainsi être des éléments prédictifs des risques de dysfonctions ventilatoires susceptibles d'évoluer en SAOS.

Durant les trois dernières décennies en anthropologie biologique, plus d'attention a été portée à l'os hyoïde en s'intéressant d'une part à son rôle dans l'évolution du langage et d'autre part à son utilité dans la reconstitution d'un profil biologique lors de l'identification des squelettes.

Très peu de spécimens d'os hyoïdes fossiles sont connus à ce jour, ils ont été retrouvés lors des fouilles conduites en Israël, Espagne et Afrique de l'Est, et sont dispersés sur une très large période chronologique, entre 3.3 millions d'années et 50 000 ans avant le présent. Le plus ancien provient du site de Dikika en Éthiopie et a été attribué à *Australopithecus afarensis*, (Alemseged *et al.* 2006) (*cf* p.41). Plusieurs centaines de milliers d'années le séparent de spécimens pré-néandertaliens, issus du site la Sima de los Huesos, en Espagne et datés d'au moins 530 000 ans (Martinez *et al.* 2008). Enfin, les plus récents spécimens sont rapportés au Paléolithique moyen : le premier provient de Kébara sur le Mont Carmel en Israël (daté de circa 60 000 ans avant le présent), le second a été découvert dans le site d'El Sidron en Espagne et daté de circa 43 000 ans (Arensburg *et al.* 1989, 1990 ; Rodriguez *et al.* 2003). Le spécimen de Kébara 2 est le plus complet avec le corps et les grandes cornes et il est par ailleurs associé à une mandibule et une colonne cervicale complète, ce qui en fait un cas unique en paléoanthropologie.

Si les études phylogénétiques visant à une reconstitution de l'espace supralaryngé et à l'identification d'une maîtrise des capacités de langage chez l'Homme fossile (e.g. Arensburg *et al.* 1990, Steel *et al.* 2013) se sont focalisées sur la forme et la position de l'os hyoïde par rapport à la base du crâne et à la colonne vertébrale, le dimorphisme sexuel affectant la taille de l'os hyoïde ainsi que la chronologie de fusion des grandes cornes au corps ont intéressé d'autres chercheurs afin d'affiner les estimations de sexe et de l'âge (e.g. D'Anastasio *et al.* 2014, Harjette *et al.* 2010), voire de mieux cerner les variations individuelles et entre populations de ce composant osseux. Une comparaison des résultats obtenus n'est cependant pas facile à mener, notamment du fait de questions méthodologiques inhérentes au choix des points de repère et à la définition des mesures, variables d'une analyse à l'autre.

Une revue de la littérature fait, en effet, apparaître la difficulté à confronter des données concernant les variations de l'os selon l'âge, le sexe ou l'origine populationnelle, et à interpréter des résultats parfois discordants.

De plus les relations fonctionnelles réciproques de l'os hyoïde et des voies aériennes supérieures ainsi que les variations de ces différents éléments anatomiques et de leurs paramètres biologiques en fonction des types faciaux restent un domaine peu exploré. Enfin, l'évolution dimensionnelle et/ou morphologique de l'os hyoïde chez les sujets immatures, et les changements qu'il subit lors du passage à l'âge adulte n'ont été que très peu explorés.

Ces différents aspects étudiés de façon systématique peuvent cependant apporter un éclairage original quant aux différentes hypothèses envisagées dans l'implication anthropologique et médicale de l'ensemble des structures concernées. Seules des analyses menées sur des populations actuelles peuvent autoriser une telle démarche globale.

Les méthodes d'analyse ont connu ces dernières années de nouveaux développements, passant des observations sur os secs ou sur les radiographies conventionnelles, à des reconstructions radiologiques tridimensionnelles et des comparaisons morphométriques (e.g. Ito *et al.* 2012, Fakhry *et al.* 2013, Ubanová *et al.* 2013). Le développement de l'imagerie médicale avec l'apparition d'une tomographie moins irradiante, à savoir la tomodensitométrie volumétrique en faisceau conique (CBCT- *Cone Beam Computed Tomography* en anglais) fournit du matériel permettant de constituer des échantillons d'études plus grands.

Pourtant, les études utilisant ces méthodes restent peu nombreuses et ce travail de thèse souhaite apporter une analyse synthétique des caractéristiques du normal et des variations biologiques de l'os hyoïde et des VAS ainsi que de leurs relations réciproques afin d'avoir une référence pour les études ultérieures :

- en anthropologie biologique (évolution, comparaison des populations...)
- en odontologie et en médecine (étude des différentes pathologies).

Cette étude in-vivo sur des reconstructions en trois dimensions a donc pour objectifs principaux :

- 1) d'étudier l'os hyoïde et ses variations biologiques selon plusieurs paramètres : dimensions, morphologie et position, sur un échantillon suffisamment grand incluant des individus immatures et adultes ;
- 2) d'analyser avec la même méthodologie les variations au sein de deux populations en utilisant deux échantillons géographiquement distincts (français et vietnamien) ;
- 3) de préciser les relations des paramètres biologiques caractérisant la morphométrie et la position de l'os hyoïde avec les caractéristiques dimensionnelles ou morphologiques des voies aériennes supérieures ;
- 4) d'évaluer l'influence des caractéristiques typologiques faciales sur ces deux unités anatomiques et leurs relations.

Pour ce faire, les tomodensitométries volumétriques en faisceau conique (CBCT - Cone Beam Computed Tomography) de la face entière constituent le matériel nécessaire pour réaliser ce travail, qui se décompose en 4 chapitres :

Le premier chapitre résume les notions préliminaires et l'état de la recherche quant aux méthodes et problématiques d'étude de l'os hyoïde et de ses relations avec les voies aériennes supérieures (VAS), rapportant le manque de données chez les immatures et la diversité des protocoles d'études qui gêne la réalisation de métaanalyses.

Le second chapitre décrit le matériel d'imagerie collecté, les logiciels de traitement d'image choisis ainsi que les protocoles de mesure et les méthodes d'analyse statistique adoptées. Les spécificités du CBCT et de deux logiciels TIVMI®, 3S Imaging® pour traitement d'image en 3D et 2D, la constitution de l'échantillon, les choix de repères de mesures appropriés, les étapes d'étude, sont détaillés dans ce chapitre.

Le troisième chapitre fait état de l'ensemble des résultats en débutant par l'évaluation systématique de la fiabilité des méthodes de mesure par des tests intra-observateur. L'ensemble des données recueillies sur l'os hyoïde, les VAS et leur relation sont ensuite analysées suivant différentes influences biologiques ou typologiques faciales.

Ces résultats sont discutés dans le *quatrième chapitre*, en analysant les points forts et les points faibles de la méthode choisie, en les comparant aux données de la littérature, en présentant des hypothèses explicatives pour les résultats obtenus. Une nouvelle classification de

la morphologie de l'os hyoïde est ensuite proposée. Les implications possibles de ces résultats en Anthropologie comme en Médecine tout comme les suggestions des perspectives de poursuite de travail sont également abordées.

Finally, dans la *dernière partie* du manuscrit, nous rapportons les conclusions les plus importantes répondant aux objectifs initiaux.

Chapitre I :
L'OS HYOÏDE ET SES RELATIONS AVEC LES VOIES
AÉRIENNES SUPÉRIEURES (VAS):
NOTIONS PRÉLIMINAIRES

Chapitre I : L'OS HYOÏDE ET SES RELATIONS AVEC LES VAS : NOTIONS PRÉLIMINAIRES

1. Rappels ontogéniques

1.1. Embryologie et développement de l'os hyoïde

1.1.1. Origine embryologique

L'os hyoïde, la totalité du squelette facial, l'os frontal et l'os temporal ont pour origine les cellules des crêtes neurales détachées des lèvres latérales de la plaque neurale, au stade de neurulation vers le 21^{ème} jour.

Au 25^{ème} jour, les arcs pharyngés sont formés par la migration des cellules des crêtes neurales aux rhombomères de la partie antérieure du rhombencéphale. Ces arcs disposés par paires sont situés à droite et à gauche de la ligne médiane, de part et d'autre de la région pharyngée et de l'intestin primitif et sont numérotés de I à VI. Il n'existe pas de 5^{ème} arc chez l'Homme. L'os hyoïde est formé à partir des 2^{ème} et 3^{ème} arcs pharyngés, le premier arc est à l'origine des maxillaires et de la mandibule, les autres forment des structures cervicales (Figure I.1, I.2).

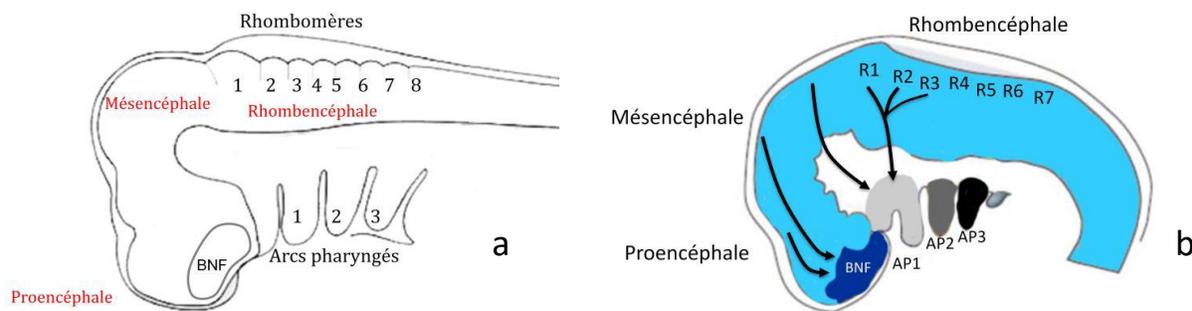


Figure I. 1 : Tube neural avant (a) et après (b) le 25^{ème} jour
(D'après Sautier, Université Paris 7¹)

¹ Cours d'anatomie du Pr Sautier, Université Paris 7, disponible sur le site <http://spiralconnect.univ-lyon1.fr/spiral-files/download?mode=inline&data=1793984>

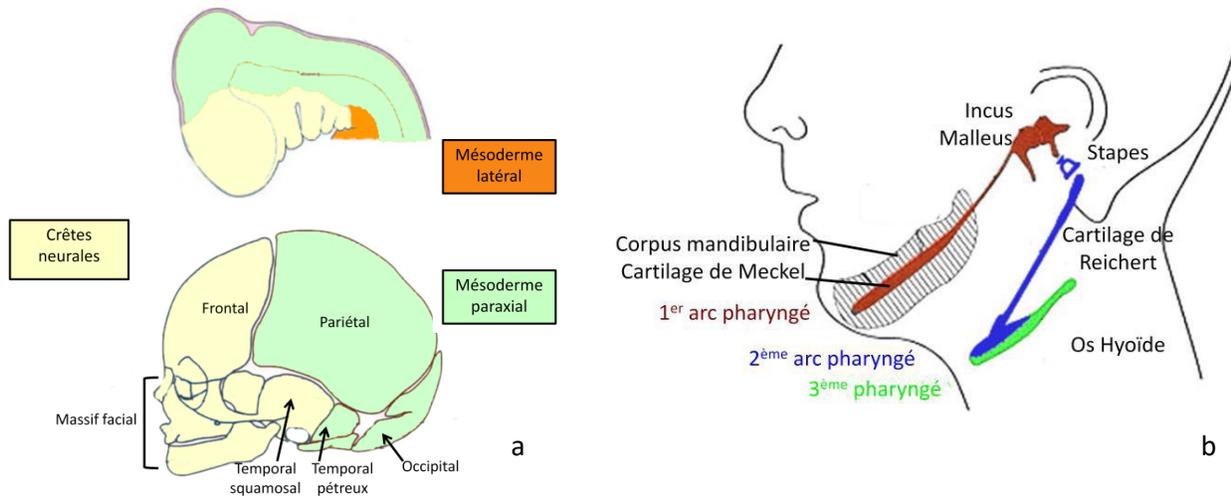


Figure 1. 2 : Origine des cellules du squelette crânio-facial (a) et devenir du cartilage de Meckel (b)
(D'après Sautier², Université Paris 7)

1.1.2. Formation et développement de l'os hyoïde (Augier 1931, Mugnier 1964)

Chez les Mammifères, l'extrémité dorsale du blastème du deuxième arc branchial présente des condensations cellulaires :

- une interne qui donnera l'étrier,
- une plus externe, le centre cartilagineux du tympanohyal,
- une troisième, le cartilage de Reichert, qui est unie aux deux autres et finit par se souder à une pièce cartilagineuse médiane, impaire : la copule hyoïdienne. L'arc hyoïdien est alors complet chez les Mammifères.

Chez l'Homme, le cartilage de Reichert réalise l'armature du deuxième arc branchial et participe à la formation de l'appareil hyoïdien. Il se divise en 4 segments :

- un supérieur (épihyal ou stylohyal) formant le processus styloïde ;
 - un moyen, (créatohyal) formant le ligament stylo-hyoïdien ;
 - un inférieur (hypohyal) formant la petite corne.
- Ces trois segments forment la chaîne hyoïdienne ;
- un basilaire (basihyal) formant la partie supérieure du corps.

Le segment dérivé du 3^{ème} arc branchial (arc thyro-hyoïdien), donne la grande corne et la partie inférieure du corps.

² Cours d'anatomie du Pr Sautier, Université Paris 7 disponible sur le site <http://spiralconnect.univ-lyon1.fr/spiral-files/download?mode=inline&data=1793984>

Le cartilage de Reichert reste cartilagineux jusqu'au 8^{ème} mois de la vie foetale, les points d'ossification n'apparaîtront qu'à partir du 9^{ème} mois. La maturation de l'os hyoïde est donc enchondrale durant une longue période.

Les 5 pièces élémentaires composant l'os hyoïde ne sont pas complètement solidarisées à l'âge adulte. En particulier, l'ossification de la jonction entre les cornes et le corps hyoïdien se produit très tardivement : les extrémités articulaires des grandes cornes et du corps restent séparées jusqu'à l'âge de 10 à 15 ans, puis se rapprochent progressivement pour réaliser un espace articulaire à l'âge de 28-30 ans. À partir de 50 ans, cette articulation se soude pour former une synostose. L'âge de fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde présente de grandes variations puisque l'absence de fusion a été relevée chez des sujets de 70 ans (O'Halloran et Lundy 1987). Quant aux petites cornes, elles restent séparées du corps jusqu'à l'âge de 50 ans. Leur soudure à celui-ci a été mise en question dès 1909, puisque Parsons a noté que les petites cornes ne synostosent pas au corps mais aux grandes cornes. Cette conclusion a été confirmée ultérieurement par Koebke (1978) lors d'une étude histologique.

1.2. Embryologie et développement des voies aériennes supérieures (VAS)

1.2.1. Formation du tube digestif primitif (D'après Laison et Gaudy 1993)

À la fin de la 3^{ème} semaine de gastrulation l'embryon est tridermique, discoïde, planiforme et situé entre la cavité amniotique et le lécithocèle. Deux zones ne sont pas tridermiques : la membrane pharyngienne, en avant, et la membrane cloacale, en arrière. À leur niveau, ectoblaste et entoblaste sont en contact.

Dès le premier mois, une gouttière se forme à la face ventrale de l'embryon, les deux lèvres bourgeonnent pour entrer en contact et transformer la gouttière en canal.

Ce phénomène débute à chaque extrémité, la partie intermédiaire restant longtemps en communication avec la vésicule ombilicale. Le tube digestif se trouve donc divisé en trois parties, deux parties terminales dont la transformation tubulaire est rapide et une partie médiane ou intermédiaire qui reste ouverte pendant près de trois mois.

Ces trois parties sont :

- le haut intestin ou intestin céphalique ou pro-entéron qui donnera le pharynx et l'œsophage ;
- l'intestin moyen ou intestin abdominal ou mésentéron qui formera, dans sa partie sus-vitelline, l'estomac, le duodénum et la presque totalité du grêle ;
- le bas intestin ou intestin caudal ou encore infra-entéron qui formera, le côlon descendant, iliaque et pelvien, ainsi que le rectum.

1.2.2. Clivage de l'intestin céphalique

L'intestin céphalique ou pro-entéron va faire l'objet d'un cloisonnement dans le sens vertical à ses deux extrémités. Sur chaque face latérale un sillon se creuse, auquel correspond un bourgeon interne. Les deux bourgeons vont se réunir sur la ligne médiane formant une cloison horizontale qui divise le stomodeum en deux parties. Ce cloisonnement ne s'effectue qu'aux deux extrémités du pro-entéron laissant la partie intermédiaire libre.

Ce cloisonnement forme donc à l'extrémité antérieure :

- une cavité supérieure : les fosses nasales ;
- une cavité inférieure : la cavité buccale.

À sa partie terminale, il détermine la formation de deux conduits : un antérieur, le larynx, et un postérieur, l'œsophage.

Les deux conduits aërière et digestif sont interrompus à leur partie intermédiaire. À ce niveau, les deux appareils sont en communication : c'est le carrefour aéro-digestif.

De l'entrecroisement de ces deux voies résulte la formation d'un appareil servant à l'exercice simultané de deux fonctions. Ainsi, s'il n'est pas grave que pendant la respiration l'appareil digestif ne soit pas fermé complètement, il est par contre nécessaire que pendant la déglutition, les voies aériennes supérieures et inférieures soient fermées au passage alimentaire, par deux organes situés à chaque extrémité :

- le voile du palais qui ferme le nasopharynx ;
- l'épiglotte qui ferme le larynx.

2. Rappels anatomiques

2.1. Anatomie de l'os hyoïde

L'os hyoïde est un os médian, placé transversalement au-dessus du larynx, au niveau de l'angle formé par la face antérieure du cou et le plancher buccal. Il se trouve donc au carrefour de la langue, du larynx et du pharynx (Figure I.3). C'est le seul os du corps qui ne s'articule directement avec aucun autre (Rouvière 1962, Bibby et Preston 1981). Suspendu par l'intermédiaire de ligaments et de muscles, il est considéré comme le véritable squelette de la langue (Sicher 1960).

C'est un os convexe en avant, concave en arrière, incurvé en fer à cheval ou Upsilon Grec, d'où son nom HY-OÏDE : U se prononce HY en grec, OÏDE provient d'eidos = forme. Il comprend un corps, deux petites cornes et deux grandes cornes (Figure I.3).

- *Le corps (Laison et Gaudy 1993)*

C'est une lame osseuse médiane, grossièrement rectangulaire, aplatie d'avant en arrière, qui présente 2 faces et 2 bords.

- La face antérieure présente 2 crêtes : l'une verticale, médiane, et l'autre transversale. À leur intersection se trouve le tubercule hyoïdien. Ces deux crêtes divisent la face antérieure en deux facettes supérieures et deux inférieures qui donnent insertion à de nombreux muscles :
 - . sur la moitié supérieure de la crête verticale se fixe le septum lingual ;
 - . sur les facettes supérieures s'insère le muscle génio-hyoïdien (faisceau supérieur) ;
 - . sur les facettes inférieures s'insèrent de haut en bas, l'hyoglosse (faisceau basso-glosse), le génio-hyoïdien (faisceau inférieur), le mylo-hyoïdien et le stylo-hyoïdien.
- La face postérieure, fortement concave en arrière, est dépourvue d'insertion musculaire.
- Le bord supérieur donne attache aux trois membranes hyo-thyroïdienne, hyo-épiglottique et hyo-glossienne ainsi qu'au muscle génio-glosse ; le bord inférieur donne insertion aux muscles sterno-cleïdo-mastoïdien, omo-hyoïdien et thyro-hyoïdien.

- *Les grandes cornes (Laison et Gaudy 1993)*

Les grandes cornes prolongent chaque extrémité du corps. Elles se dirigent obliquement en haut, en arrière et en dehors. On leur distingue :

- deux faces : la face latérale donne insertion au muscle hyoglosse (à mi-hauteur et sur la moitié postérieure). En haut et en arrière de l'hyoglosse, s'attache le constricteur moyen du pharynx. En bas et en avant de l'hyoglosse, se fixent le tendon intermédiaire du digastrique et le muscle stylo-hyoïdien. La face médiale concave ne reçoit aucune insertion musculaire ;
- deux bords : le bord supérieur donne insertion à la membrane hyo-thyroïdienne et le bord inférieur donne insertion au muscle thyro-hyoïdien.
- une extrémité qui forme un tubercule arrondi sur lequel s'insèrent le ligament hyoïdien latéral et le muscle cérato-glosse accessoire.

- *Les petites cornes (Laison et Gaudy 1993)*

Les petites cornes sont deux osselets ovoïdes implantés à l'union du corps et des grandes cornes. Leur sommet donne insertion au ligament stylo-hyoïdien tandis que sur leur face antérieure s'insèrent les muscles linguaux supérieur et inférieur ainsi que le constricteur moyen du pharynx.

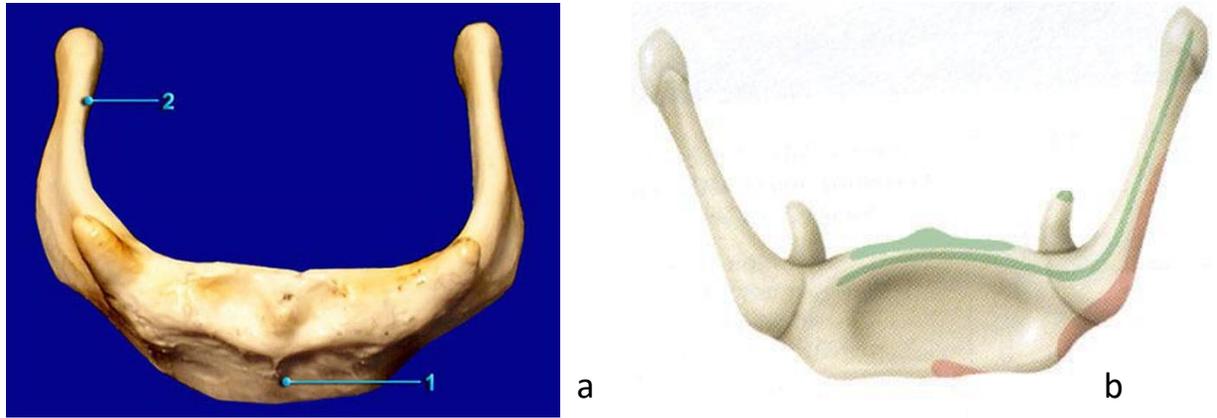


Figure 1.3 : Anatomie de l'os hyoïde : vues antérieure (a) et postérieure (b). 1 : le corps ; 2 : la grande corne

2.2. Anatomie des voies aériennes supérieures (VAS)

Les voies aériennes supérieures (VAS) représentent un conduit d'air qui débute aux narines nasales et se termine au niveau de la carène (NHLBI 2009)³. En relation avec les objectifs de notre recherche, nous ne décrivons ici que l'anatomie du pharynx et du larynx (Figure 1.4)

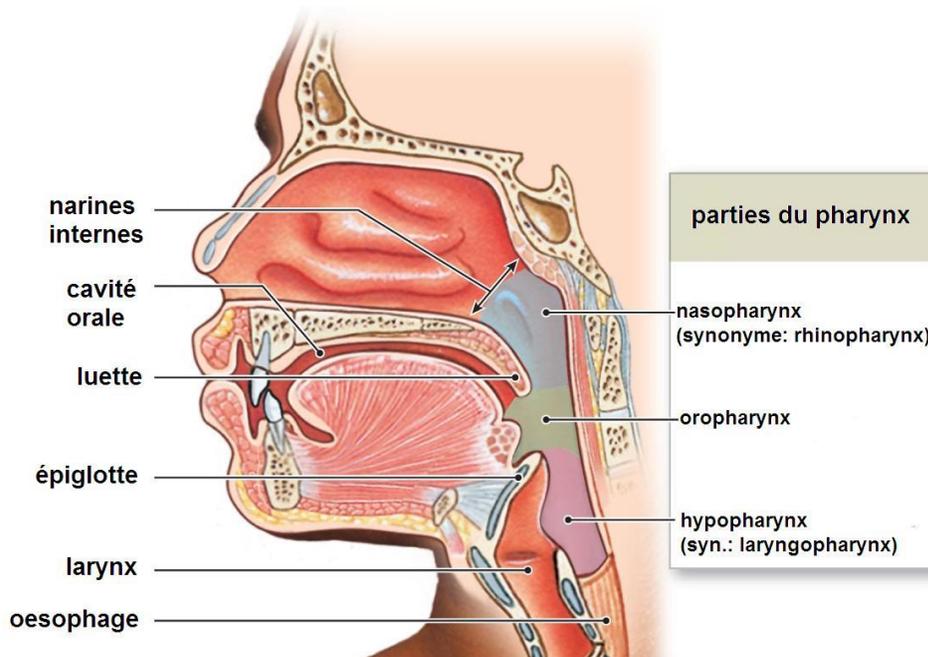


Figure 1.4 : Différentes parties des VAS

³ National Heart, Lung, and Blood Diseases Institute - workshop report 2009

2.2.1. Pharynx

Le pharynx est un conduit musculo-membraneux vertical qui s'étend de la base du crâne jusqu'au niveau de la sixième vertèbre cervicale.

2.2.1.1. Configuration externe (Laison et Gaudy 1993)

Sa forme générale ressemble à une pyramide quadrangulaire à base supérieure et à sommet inférieur.

- *La face antérieure* du pharynx est limitée de haut en bas par le squelette de la face, la base de la langue, l'os hyoïde et le larynx.
- *La face postérieure*, large en haut, s'étend d'une épine à l'autre de l'os sphénoïde, se rétrécit pour s'élargir au niveau des grandes cornes de l'os hyoïde, continue à se rétrécir dans l'espace hyo-thyroïdien, s'élargit au niveau des grandes cornes du cartilage thyroïde puis se rétrécit à nouveau progressivement jusqu'au "chaton" cricoïdien. Chacun de ses bords forme un S très allongé.
- *Les faces latérales* convergent en avant et en dedans et répondent de haut en bas :
 - au bord postérieur de l'aile médiale du processus ptérygoïde,
 - au ligament ptérygo-mandibulaire,
 - à l'extrémité postérieure de la ligne mylo-hyoïdienne,
 - à la face latérale de la langue,
 - à la grande corne de l'os hyoïde,
 - au ligament thyro-hyoïdien latéral,
 - au bord postérieur des lames latérales du cartilage thyroïde,
 - enfin, à la partie latérale du " chaton" cricoïdien.

2.2.1.2. Configuration interne

- *le nasopharynx* est la région située entre les cornets nasaux et le palais, avec comme limite inférieure le voile du palais ; elle a 6 parois que nous ne détaillons pas ici.
- *l'oro-pharynx* est limité en haut par le voile et en bas par le plan horizontal passant par le corps de l'os hyoïde (Laison et Gaudy 1993). Il communique en avant avec la cavité buccale par une sorte de défilé à deux passes :
 - la passe antérieure, *isthme du gosier*, encore appelée isthme pharyngo-buccal, est située entre les piliers antérieurs du voile du palais.
 - la passe postérieure, *isthme de l'arrière gorge*, encore appelée isthme pharyngo-nasal située entre les piliers postérieurs du voile du palais.En arrière, l'oro-pharynx répond à l'arc antérieur de l'atlas, au corps de l'axis et à la 3^{ème} vertèbre cervicale (C3). Sa surface est soulevée de nombreux follicules clos.

Latéralement, on trouve la fosse amygdalienne limitée par les piliers antérieurs et postérieurs du voile qui s'unissent en haut et se séparent en bas, déterminant ainsi un creux triangulaire à sommet supérieur et à base inférieure.

En avant et en arrière de l'amygdale palatine existent des espaces virtuels, pré- et rétro-amygdaliens. Au-dessus de l'amygdale, un espace triangulaire constitue la fossette sus-amygdalienne. Ces trois espaces sont en communication entre eux autour de l'amygdale.

- *l'hypo-pharynx* ou le *laryngo-pharynx* est la partie la plus inférieure du pharynx. Il est en forme d'entonnoir évasé en haut vers l'oropharynx et se rétrécissant vers le bas jusqu'à la bouche œsophagienne. Il est situé latéralement et derrière le larynx avec lequel il contracte des rapports étroits par les murs pharyngés et la région rétro-crico-aryténoïdienne. De chaque côté du larynx, les deux sinus piriformes de l'hypopharynx sont 2 petits sillons dans la paroi pharyngée.

C'est un carrefour aéro-digestif qui fait communiquer d'une part la cavité buccale avec l'œsophage, d'autre part les fosses nasales avec le larynx.

2.2.2. Larynx

Le larynx est un conduit des voies aériennes pures, mais aussi l'organe de la phonation. Il est composé d'un squelette cartilagineux, de ligaments, de membranes et de muscles. Il est tapissé d'une muqueuse.

Le cartilage thyroïde est le plus volumineux. Il forme la proéminence laryngée de la pomme d'Adam et est ouvert en arrière. Ses faces externes donnent insertion aux muscles et ses faces internes donnent insertion aux ligaments et membranes.

Le cartilage épiglottique est médian, incliné en arrière. Il est articulé avec le cartilage thyroïde. Il limite le vestibule laryngé. Lors de la déglutition, il bascule pour fermer ce vestibule et empêcher l'inhalation du bol alimentaire.

Le cartilage cricoïde limite le larynx en bas et la trachée en haut. Il ressemble à un anneau articulé avec le cartilage thyroïde. Il s'articule aussi avec les cartilages aryténoïdes.

Les cartilages aryténoïdes ont la forme de deux petites pyramides sur lesquelles s'insèrent les deux ligaments vocaux (qui forment avec la muqueuse des plis vocaux les cordes vocales). C'est par la mobilisation en abduction des cartilages aryténoïdes que la fente laryngée ou fente glottique s'ouvre pour moduler les sons émis par la vibration des plis vocaux. Au-dessus des ligaments vocaux s'insèrent les ligaments vestibulaires (thyro-arténoïdiens supérieurs) qui limitent la fente vestibulaire au-dessus de la fente glottique.

2.3. Relations anatomo-fonctionnelles de l'os hyoïde

Les VAS sont impliquées dans différentes fonctions physiologiques dont, en premier lieu, la respiration puis la déglutition et la phonation. L'os hyoïde, lui aussi, est sollicité lors de ces fonctions. La relation fonctionnelle de l'os hyoïde et des VAS est réciproque.

2.3.1. Rôle dans des fonctions oro-pharyngées

2.3.1.1. Dans la fonction de ventilation

L'os hyoïde fixe la filière respiratoire (Macheneaud 1978). Les muscles qui s'insèrent sur l'os hyoïde contribuent à la morphologie des VAS.

L'os hyoïde sert d'ancrage pour maintenir le larynx à une distance suffisante de la colonne vertébrale et du mur pharyngé postérieur, permettant de conserver la perméabilité du défilé oropharyngé et donc la ventilation.

Chez le nourrisson, il n'y a pas encore d'oropharynx, le pharynx est court et la position haute de l'os hyoïde permet une situation horizontale et antérieure de la langue. Ces conditions anatomiques permettent aux nourrissons d'avoir un contact entre l'épiglotte et le voile du palais, avec pour conséquence, la mise en place de plusieurs systèmes de protection physiologiques : la possibilité de déglutir sans interrompre la ventilation, l'obligation de ventiler par le nez, une protection contre la dépression inspiratoire (Talmant *et al.* 1998). Au cours de la croissance (à partir de 2-3 ans), par la descente de l'os hyoïde et la croissance rachidienne (Talmant et Renaudin 1996, Talmant *et al.* 1996), le pharynx s'allonge et sa hauteur devient plus grande que son diamètre. Il devient alors instable et la dépression inspiratoire peut provoquer le collapsus de ses parois.

Durant la mécanique ventilatoire, les muscles supra-hyoïdiens jouent un grand rôle. Le muscle génio-glosse adapte le profil de la base linguale aux meilleures conditions énergétiques de l'écoulement. Les muscles génio-hyoïdien, mylo-hyoïdien et le ventre antérieur du digastrique vont placer le vestibule laryngé dans la continuité dynamique de l'écoulement oro-pharyngé.

Le muscle constricteur moyen du pharynx diminue le calibre pharyngé et élève le larynx. Les muscles infra-hyoïdiens semblent participer également à la mécanique ventilatoire, en particulier l'omo-hyoïdien, qui tend l'aponévrose cervicale moyenne, et diminue ainsi l'aspiration des tissus mous résultant de la dépression intra-thoracique inspiratoire.

L'augmentation des résistances à la ventilation (due notamment à l'obstruction nasale) s'accompagne généralement d'une ouverture de l'angle crânio-cervical. Cette extension accroît la tension de l'axe viscéral du cou. L'os hyoïde descend par rapport à la colonne vertébrale. Cette descente entraîne une augmentation de la compliance du pharynx qui oblige la personne à se mettre en extension crânio-cervicale compensatrice, ce qui descendra encore l'os hyoïde. Ainsi s'instaure le cercle vicieux de l'évolution pathologique des rapports vertébraux de l'os hyoïde.

Lors de l'apnée du sommeil, la langue est reculée et la déformation de sa base n'est plus contrôlée comme elle l'est lorsque l'os hyoïde reste en place. Ce déplacement postérieur de l'os hyoïde contribue à obstruer les voies aériennes supérieures chez le ronfleur apnéique.

Le mode de respiration influe sur la position linguale et donc sur la position de l'os hyoïde (Rubin 1980) et sur la croissance faciale, en particulier sur la croissance mandibulaire (Ricketts 1968, Bluestone 1979, Linder-Aronson 1979, Mc Namara 1981).

De plus, des caractéristiques crânio-faciales comme les relations antéro-postérieures de la mandibule et du maxillaire pourraient avoir des impacts sur les dimensions des VAS qui à leur tour, influent sur la position de l'os hyoïde.

2.3.1.2. Dans la déglutition

L'os hyoïde étant le point d'insertion de nombreux muscles participant à la déglutition, il change de position (Freyss 1976, Sénécaïl 1979) lors des différents temps de cette fonction :

- *temps buccal* : l'os hyoïde passe d'une position de repos à une position postéro-supérieure pour que la langue se plaque contre le voile afin de permettre la progression du bol alimentaire. Au début du temps buccal, l'os hyoïde se mobilise peu mais sert d'appui aux muscles hyo-glosse et lingual supérieur. À la fin du temps buccal, par l'action intense des muscles (supra-hyoïdiens antérieurs, ventre antérieur du digastrique, génio-hyoïdien), le corps de l'os hyoïde remonte rapidement. Simultanément, le cartilage thyroïde effectue une ascension oblique en avant, les grandes cornes hyoïdiennes et l'épiglotte s'abaissent et le voile du palais se relève.
- *temps pharyngé* : l'os hyoïde est propulsé en avant lorsque le bol alimentaire pénètre dans l'oropharynx, le couloir pharyngé augmente son diamètre et diminue sa hauteur.
- *temps œsophagien* : il revient progressivement à son niveau initial quand le bol est situé dans l'œsophage.

Chez le nouveau-né, la déglutition s'effectue facilement alors que l'os hyoïde se déplace peu et présente une situation élevée (dite de déglutition). Chez l'adulte, cette fonction entraîne des déplacements importants de l'os hyoïde qui semblent être la rançon de sa situation basse.

2.3.1.3. Dans la phonation

L'os hyoïde est sollicité au cours de la phonation. À l'aide de superpositions, Macheneau (1978) a visualisé des déplacements de l'os hyoïde lors de l'émission de certains phonèmes tels que "A", "T", "E", "U", ainsi que de certaines consonnes. Selon Sénécaïl (1979) le langage des humains est dépendant de la position de l'os hyoïde. Par exemple, lors de l'émission continue du son « a », l'os hyoïde occupe une position plus élevée et en retrait par rapport à sa position au repos, ce qui s'accompagne d'un recul de la pente pharyngée. Le cartilage thyroïde se rapproche de l'os hyoïde. Nul langage (au sens propre) n'est possible sans une position cervicale de l'os

hyoïde. Ainsi, les nourrissons ne pourront qu'émettre des cris inarticulés jusqu'à la descente de leur os hyoïde et de leur larynx, aboutissant à la création d'un véritable oro-pharynx vers deux ans.

En fait, au cours de la production de la parole, l'os hyoïde se déplace verticalement et horizontalement de près de ± 7 mm. Ces mouvements sont dus pour l'essentiel à ceux de la langue et de la mandibule (Hoole et Kroos 1998, Beautemps *et al.* 2001). L'abaissement de la mandibule est réalisé grâce à une contraction des muscles ptérygoïdiens latéraux et une co-contraction des deux ventres du digastrique. La position de l'os hyoïde sous le plan mandibulaire facilite ce mouvement.

2.3.2. Relation de l'os hyoïde avec la mandibule

L'os hyoïde est relié à la mandibule par l'intermédiaire des muscles génio et mylohyoïdiens (Figure I.5). En principe, il doit suivre les mouvements mandibulaires.

Dans le mouvement d'abaissement de la mandibule à partir de la position occlusale, l'os hyoïde descend et tend à se verticaliser. Ce phénomène a lieu au cours des trente premiers degrés d'ouverture buccale. La propulsion mandibulaire provoque un déplacement en avant de l'os hyoïde.

Au cours de la croissance, la mandibule et l'os hyoïde effectuent une descente progressive. La position de l'os hyoïde varie en fonction probablement de la typologie faciale, surtout de la typologie verticale : l'os hyoïde est plus haut chez les hypodivergents (face courte) dont la mandibule effectue une croissance en rotation antérieure (anti horaire) et plus bas chez les hyperdivergents (face longue) chez qui la mandibule effectue une croissance en rotation postérieure (horaire).

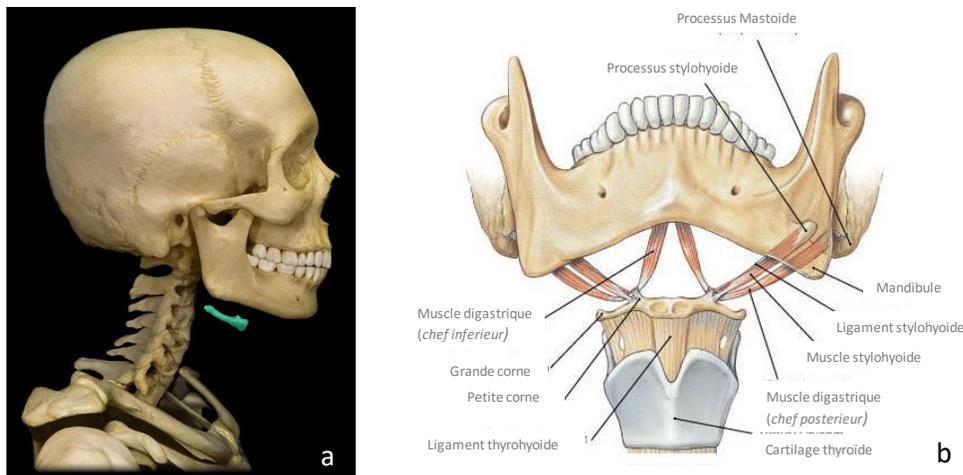


Figure 1. 5 : Position relative de l'os hyoïde (a) et principaux muscles supra et infra hyoïdiens (b)
(Source : <http://msk-anatomy.blogspot.com>)

2.3.3. Relation fonctionnelle avec la colonne vertébrale

De nombreuses interactions entre l'os hyoïde et la colonne cervicale existent dans les deux fonctions orthostatique ou ventilatoire.

Face aux forces mises en jeu lors de l'orthostatisme, le rachis cervical joue un rôle de pivot dans la statique sagittale. D'après Brodie (1950), "l'équilibre de la tête sur la colonne vertébrale" met en jeu : en arrière, les puissants muscles cervico-postérieurs, en avant, les muscles masticateurs, les muscles supra-hyoïdiens et les muscles infra-hyoïdiens. À l'action de ces derniers s'ajoute celle de la pesanteur, Brodie (1950) et Delmas et Sénécaïl (1976), Delmas et Sénécaïl (1977) démontrent que lors de l'extension de la tête, il y a ascension et recul de l'os hyoïde, le "plan hyoïdien" suivant, en la minimisant, l'extension de la tête.

Les forces de traction ventilatoires permanentes décrites par Talmant et Renaudin (1996), partent du parenchyme pulmonaire (force centrifuge centrée sur le hile) et s'appliquent sur la trachée puis l'os hyoïde en une traction caudale. Par son appareil de suspension et l'ensemble des muscles sus-hyoïdiens, l'os hyoïde transmet à son tour cette contrainte caudale au massif crânio-facial. C'est un facteur essentiel de la morphogenèse et de la statique sagittale de la partie céphalique du squelette axial.

Des études montrent que la position de l'os hyoïde est en rapport avec la convexité cervicale, elle-même en rapport avec la bipédie. La station debout acquise influe sur la courbure de la colonne vertébrale et donc sur la position de l'os hyoïde qui est placé au niveau de la quatrième vertèbre cervicale chez l'homme adulte actuel. Encore une fois, l'anatomie comparée montre que l'enfant de moins de deux ans acquiert cette convexité cervicale (lordose cervicale) quand il apprend à se déplacer debout.

3. Revue de la littérature concernant l'étude de l'os hyoïde et des VAS

3.1. Dimensions et morphologie de l'os hyoïde

3.1.1. Méthodes d'étude

Depuis les descriptions de Parsons (1909), peu de travaux d'anatomie sur l'os hyoïde ont été réalisés, à l'exception des études de Koebke et Saturnus en 1979 et de Papadopoulos *et al.* en 1988.

Récemment, les dimensions et la morphologie de l'os hyoïde ont attiré à nouveau l'attention des chercheurs par leurs implications en bioarchéologie, en anthropologie légale (détermination du sexe, de l'âge dans des contextes archéologiques ou de catastrophes naturelles) ou encore en médecine (diagnostic et traitement des syndromes d'apnée du sommeil, dysphagies par limitation des mouvements de l'os hyoïde chez des sujets cancéreux/irradiés de la région cervicale, impact de la chirurgie orthognathique).

Les méthodes les plus utilisées par les auteurs jusqu'à présent font appel à des études dimensionnelles à partir d'os secs :

- par observation (Parsons 1909) ou mesures directes (*e.g.* Parsons 1909, Arensburg *et al.* 1989, 1990, Pollanen et Ubelaker 1997, Lekšan *et al.* 2005, Kindschuch 2009, 2010, Urbanová *et al.* 2013, D'Souza *et al.* 2013) (Figure I.6 a) ;
- sur des clichés radiologiques (Koebke et Saturnus 1979, Papadopoulos *et al.* 1988, Miller *et al.* 1998, Reesink *et al.* 1999, Shimizu *et al.* 2005) (Figure I.6 b) ;
- sur des photos (Balseven *et al.* 2013) (Figure I.6 c).

Les mesures les plus étudiées sont la largeur transversale au niveau des deux extrémités distales des grandes cornes ou la largeur transversale la plus grande, la longueur de l'os hyoïde du point le plus antérieur du corps au plan passant les deux extrémités distales des grandes cornes, l'angle entre les grandes cornes, la hauteur et la largeur du corps.

Dans l'étude d'Arensburg *et al.* (1989), les mesures du corps de l'os hyoïde sont plus sophistiquées : les auteurs mesurent les hauteurs et largeurs les plus grandes du corps ainsi que son épaisseur antéro-postérieure et la profondeur de sa face postérieure.

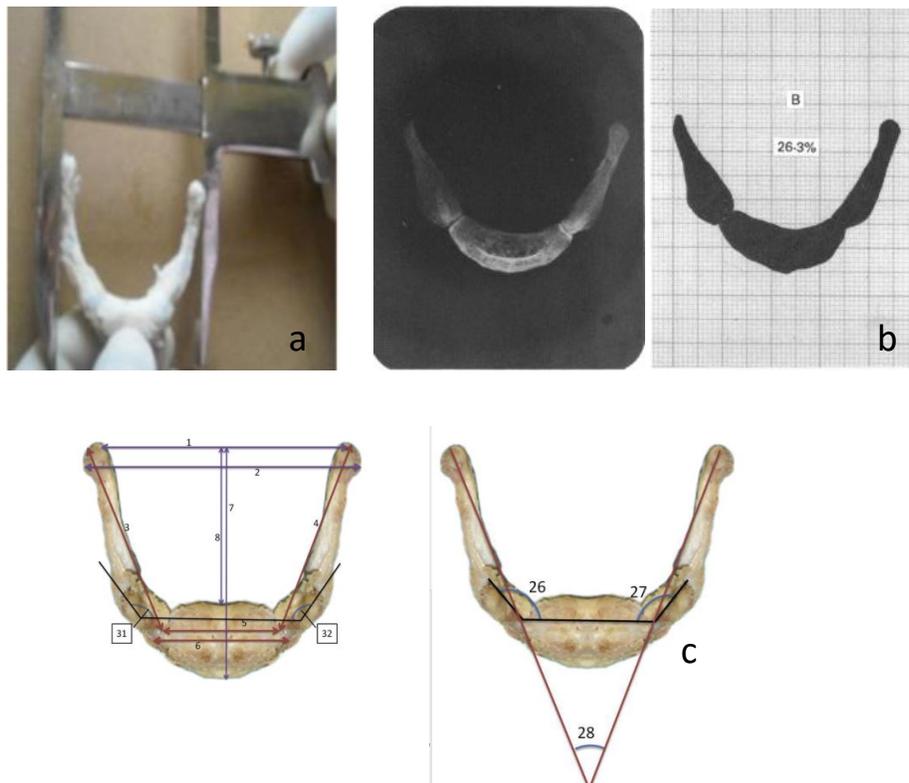


Figure I. 6 : Méthodes de mesure de l'os hyoïde
 a : méthode de mesure directe sur os sec (D'Souza *et al.* 2013)
 b : méthode sur calque millimétré de Papadopoulos *et al.* (1988)
 c : mesures prises sur des photos de l'os hyoïde réséqué. (Balseven *et al.* 2013)

Depuis peu, la méthode morphométrique géométrique est utilisée pour analyser la morphologie des os hyoïdes. Kim *et al.* (2006) ont utilisé cette méthode sur des photographies numériques, Ubanová *et al.* (2013) l'ont employée sur des os secs pour analyser le dimorphisme sexuel, tandis que récemment Fakhry *et al.* (2013) ainsi que Loth *et al.* (2015) ont reconstruit en 3D des os hyoïdes à partir de CT scans (Figure I.7). L'un des avantages des méthodes morphométriques géométriques est la préservation de l'information spatiale de chaque point dans l'analyse. À la lumière des études tridimensionnelles, de nouveaux aspects peuvent être exploités.

Les études sur os sec ou lors d'autopsie ne peuvent fournir toutes les informations sur la vraie forme de l'os hyoïde. Les structures auxquelles il est attaché peuvent induire des modifications. De plus, pour conserver les os d'autopsie, il faut les fixer ou les congeler. Cette conservation peut altérer la morphologie in situ de l'os hyoïde.

Des techniques d'imagerie non-invasives comme la tomographie à faisceau conique (ConeBeam CT) apportent une solution à ce problème. Dans des publications récentes, des chercheurs qui ont utilisé la tomographie à faisceau conique (Ito *et al.* 2012, Fakhry *et al.* 2013, Loth *et al.* 2015) ont montré ses avantages. Les scans permettent d'étudier l'os hyoïde chez des sujets vivants, apportant donc l'image de l'os hyoïde en fonction ; ses relations avec les structures avoisinantes peuvent être analysées plus concrètement. En étudiant les relations morphologiques et positionnelles de l'os hyoïde avec le pharynx et le larynx, leur relation fonctionnelle étroite et les impacts réciproques des deux structures peuvent être analysés et expliqués.

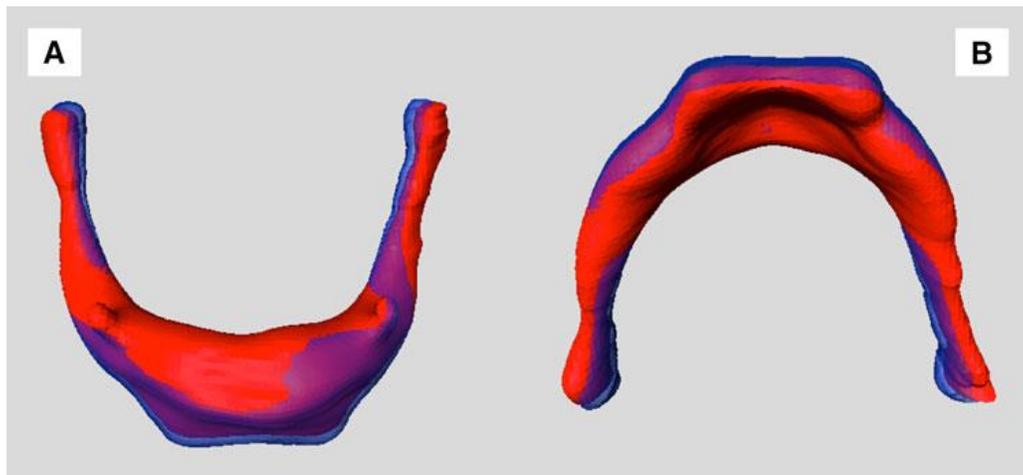


Figure I. 7 : Reconstruction 3D de l'os hyoïde et comparaison morphométrique entre femmes (rouge) et hommes (bleu).

A : Vue supérieure ; B : Vue inférieure (adapté de Fakhry *et al.* 2013)

3.1.2. Taille et forme de l'os hyoïde

3.1.2.1. Forme générale de l'os hyoïde

Les auteurs qui étudient la forme de l'os hyoïde sont unanimes pour conclure que l'os hyoïde est polymorphe (Parsons 1909, Koebke et Saternus 1979, Papadopoulos *et al.* 1988, Pollanen et Ubelaker 1997, Miller *et al.* 1998). Ainsi, la forme classique en U symétrique a été remise en question par Parsons (1909) qui trouve un taux important d'os hyoïdes ayant des grandes cornes de longueurs inégales dans son échantillon. Koebke (1979) et Papadopoulos *et al.* (1988) observent des taux d'os hyoïdes asymétriques différents allant de 11 % pour le premier à plus de 20 % pour les seconds.

Il n'existe pas encore de classification unanimement admise.

- *La classification la plus simple* distingue 2 formes d'os hyoïdes :
 - la forme en U (quand le rapport largeur/longueur est inférieur à 1)
 - la forme en V (quand le rapport largeur/longueur est supérieur à 1).
 Cette classification est simple mais insuffisante pour décrire toutes les formes d'os hyoïdes existantes d'après Miller *et al.* (1998) ; elle reste cependant la classification de référence pour quelques chercheurs actuels (*e.g.* Pollanen 1997, Ito *et al.* 2012, D'Souza *et al.* 2013).
- *La classification proposée par Koebke et Saternus (1979)*, à l'issue de l'observation de 504 os hyoïdes humains est un peu plus détaillée et inclue la forme asymétrique comme un type indépendant. Les trois principaux types de forme symétrique (qui couvrent 89% de la population) sont :
 - . la forme parabolique (40.9%),
 - . la forme hyperbolique (35%)
 - . le type en fer à cheval (13.1%)
 Le type asymétrique représente les 11% restants de l'échantillon.
- Lekšan *et al.* (2005) proposent une classification simplifiée en réutilisant les deux formes U, V et en distinguant donc la forme U symétrique, la forme V symétrique et une troisième forme asymétrique.
- *La classification plus élaborée proposée par Papadopoulos et al. (1988)* différencie 5 formes d'os hyoïdes (Figure I.8) :
 - . la forme en U (présente dans 18.4%),
 - . la forme H (H signifie horse - fer à cheval) (21.1%),
 - . la forme B (B signifie boat - comme la coupe d'un bateau) (26.3%),

- la forme en V et la forme D qui désigne les formes asymétriques des grandes cornes (28.9%).

Les auteurs ont également calculé le rapport entre la largeur et la longueur de l'os hyoïde pour déterminer 3 types d'os hyoïdes : étroit (rapport = 1-1.19), intermédiaire (rapport = 1.20-1.50) et large (>1.51).

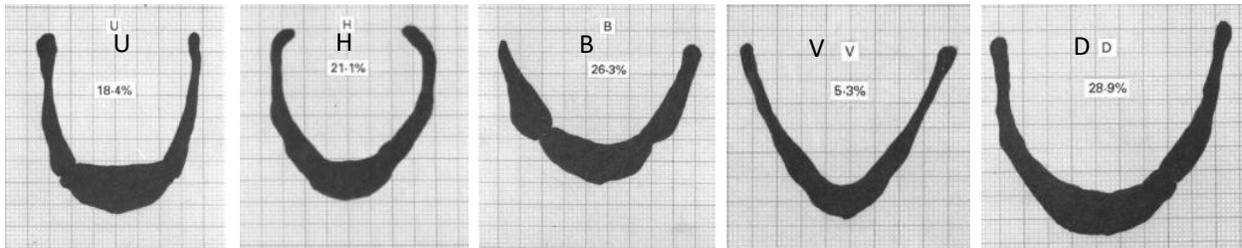


Figure 1. 8 : Les formes U, H, B, V et D de l'os hyoïde d'après Papadopoulos et al. (1988)

3.1.2.2. Forme du corps de l'os hyoïde

Une variation notée dans la forme du corps de l'os hyoïde est la présence du processus glosso-hyal ou entoglossal (Figure 1.9). Ce processus reste une structure occasionnelle chez l'Homme. Sa forme et sa position exacte n'ont pas pu être précisées. Parsons (1909) a signalé ce processus sur 72 des 108 spécimens observés. Dans quelques cas, c'est un simple vestige qui remonte plus haut, dans d'autres, c'est une épine de 3 mm de hauteur ou une crête médiane verticale. Récemment, Ito *et al.* (2012) mentionnent un taux de présence de cette "lingula" dans 90 % de cas sans différence de fréquence entre hommes et femmes, et recommandent donc la description obligatoire de ce processus dans des livres d'anatomie.

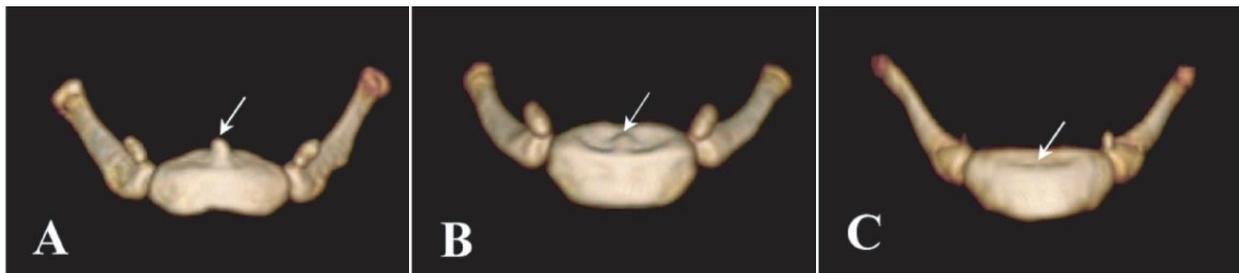


Figure 1. 9 : Les différentes configurations du processus glosso-hyal (d'après Ito et al. 2012).
A : la "lingula" est bien développée ; B : la "lingula" est un vestige identifié ; C : la "lingula" n'est pas identifiée

3.1.2.3. *Forme des grandes cornes*

Les variations de forme des grandes cornes ont été décrites par Parsons en 1909, qui a trouvé que les grandes cornes sont, dans la plupart des cas, "aplaties" de haut en bas (transversalement), cette configuration est considérée comme normale. Mais elles peuvent aussi être aplaties verticalement ou inclinées entre ces deux situations voire combiner deux formes différentes dans chaque grande corne (Parsons 1909). Aucun auteur n'a ensuite porté attention sur cette forme jusqu'en 2013, date à laquelle Urbanová *et al.* ont signalé que seules les grandes cornes des os hyoïdes masculins présenteraient des formes aplaties verticalement et des extrémités postérieures courbées médialement en forme de fer à cheval (Figure I.10).

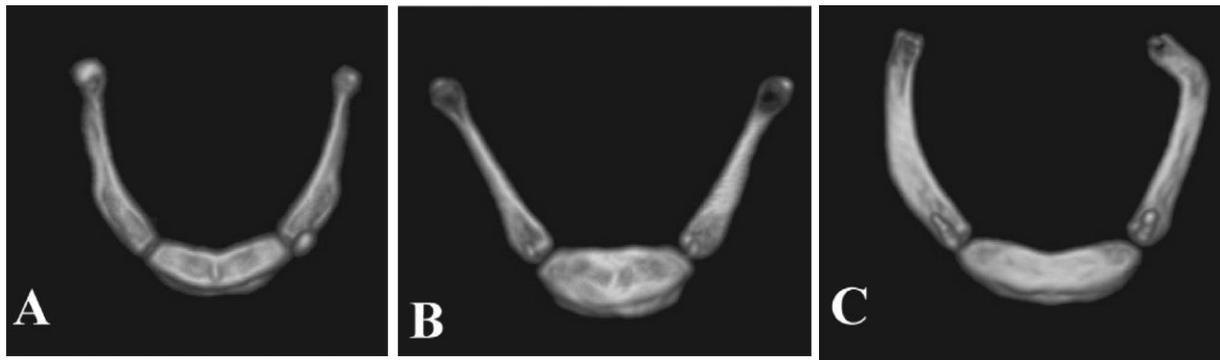


Figure I. 10 : Différences de divergence des grandes cornes de l'os hyoïde d'après Ito *et al.* (2012)

A et B : les os hyoïdes ayant la largeur au niveau des extrémités postérieures supérieure à celle à mi-longueur des grandes cornes sont classés en forme U (Ito *et al.* 2012)

C : les os hyoïdes ayant la largeur au niveau des extrémités postérieures inférieure à celle à mi-longueur des grandes cornes sont classés en forme du fer à cheval (Ito *et al.* 2012)

3.1.3. *Influence des paramètres biologiques*

3.1.3.1. *L'influence de l'âge*

Modifications au cours du développement

Il existe très peu de références dans la littérature sur la croissance et le développement de l'os hyoïde, les rares travaux sont ceux de Parsons (1909), de Koebke (1978) et de Reed (1993).

La croissance de l'os hyoïde se fait à partir de 5 points d'ossification, chaque point représente une partie distincte : le corps, 2 points pour 2 grandes cornes et 2 points pour 2 petites cornes.

- *Croissance du corps* : le centre d'ossification du corps de l'os hyoïde apparaît aux alentours de la naissance d'après Parsons (1909). Ce centre occupe initialement la partie supérieure de la barre incurvée et la dépasse au bout de la première année. Le corps de

l'os hyoïde est complètement ossifié vers 20 ans et ses angles inférieurs sont les parties qui restent cartilagineuses le plus longtemps.

- *Croissance des grandes cornes* : Parsons (1909), en observant 27 os hyoïdes d'enfants de 3 semaines à 17 ans a noté que le point d'ossification semble apparaître plus tôt dans des grandes cornes que dans le corps de l'os hyoïde. En revanche, Reed (1993), à l'issue de l'étude d'une série de 86 enfants de 0 à 16 ans et de 10 enfants mort-nés, constate que le corps s'ossifie à partir de 4 mois après la naissance tandis que les grandes cornes s'ossifient à partir de 6 mois. La croissance de ce point d'ossification est très variable selon les individus, il pourrait atteindre la taille de 7 mm chez un enfant de 5 semaines tandis qu'il pourrait mesurer seulement 5 mm chez un autre de 3 mois. Suivant les statistiques de Parsons, l'ossification des grandes cornes acquiert 1 cm pendant la première année, un autre centimètre entre 1 an et l'âge de puberté et un dernier entre la puberté et 25 ans.
- *Pour les petites cornes*, les auteurs décrivent classiquement qu'elles débutent leur ossification vers l'âge de 2 ans, mais deux études signalent que leur centre d'ossification n'est pas présent avant 14 ans (Parsons 1909) ou 15 ans (Reed 1993).

Modifications liées à la maturation et au vieillissement

- *Changements de forme de l'os hyoïde avec l'âge*

Pour visualiser ces changements, les auteurs ont réalisé des études transversales mais les tranches d'âge étudiées varient d'une étude à l'autre. O'Halloran *et al.* (1987) divisent leur échantillon en tranches de 10 ans : 0-9 ans, 10-19 ans, 20-29 ans, 30-39 ans, 40-49 ans, 50-59 ans, 60-69 ans et > 70 ans). Shimizu *et al.* (2005) ont choisi des tranches d'âge de 20 ans : 20-39 ans, 50-69 ans, > 80 ans). Urbanová *et al.* (2013) utilisent aussi des tranches de 20 ans mais avec des bornes différentes de celles de Shimizu *et al.* (2005) : < 30 ans, 31-50 ans, 51-70 ans, > 70 ans. Les conclusions de ces études sont variées.

Urbanová *et al.* (2013) ont dépisté une différence significative entre le groupe d'âge 31-50 ans avec le groupe plus âgé chez les hommes, tandis que Shimizu *et al.* (2005) ne trouvent pas de changement de taille de l'os hyoïde avec l'âge mais constatent des différences au niveau de la jonction grandes cornes-corps. Pour Papadopoulos *et al.* (1988), la différence de taille ou de forme de l'os hyoïde entre les groupes d'âge n'est pas significative.

La différence de forme chez des sujets de 31-50 ans par rapport au groupe plus âgé décrite par Urbanová *et al.* (2013) correspond à un corps plus important et des grandes cornes moins divergentes. L'auteur a d'ailleurs remarqué que les sujets

masculins sont plus susceptibles de variations en fonction de l'âge que les sujets féminins.

- *Âge de fusion des grandes cornes au corps*

Pour estimer l'âge d'un individu, les auteurs étudient l'âge de la fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde. Malheureusement, les résultats obtenus diffèrent également voire sont contradictoires.

L'âge du début du phénomène de fusion est très variable selon les auteurs. Parsons (1909) comme O'Halloran et Laudy (1987) observent une fusion chez une femme moins de 20 ans. D'autres auteurs constatent que la fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde n'est pas engagée chez des sujets de moins de 25 ans (Harjette *et al.* 2010) ou de 30 ans (Gupta *et al.* 2008).

Les auteurs (Parsons 1909, O'Halloran et Lundy 1987, Gupta *et al.* 2008, Harjette *et al.* 2010, Balseven *et al.* 2013) sont unanimes pour conclure que la fusion commence et reste assez longtemps unilatérale avant que la grande corne contralatérale ne fusionne au corps. Le taux de fusion unilatérale à 40 ans est de 30 % (pour les hommes) - 46 % (pour les femmes), à 50 ans de 9 % (pour les hommes) - 22 % (pour les femmes), à 60 ans de 14.3 % (pour les hommes) et 55.6 % (pour les femmes) ; enfin à 70 ans il est de 12.5 % (pour les premiers) - 14.3 % (pour les secondes) d'après O'Halloran et Laudy 1987.

Vers 50 ans, le taux des sujets ayant atteint la fusion bilatérale varie de 36 % (Parsons 1909) à 55 % (O'Halloran et Lundy 1987). À cet âge, le taux d'os hyoïdes présentant une fusion unilatérale est de 13.2 % et de 42 % pour une absence de fusion d'après Harjeet *et al.* (2010). Pour Parsons, le taux de fusion bilatérale atteindrait 100% à 70 ans, tandis que, selon Ito *et al.* (2012), des os non fusionnés existent à 70 ans voire plus tard.

Ce phénomène de fusion unilatérale est souligné par O'Halloran et Lundy (1987) qui évoquent la possibilité d'un faux diagnostic de fracture de l'os hyoïde dû à une strangulation ante-mortem.

En résumé, la détermination de l'âge dans des contextes d'anthropologie légale, basée sur l'âge de la fusion des grandes cornes de l'os hyoïde semble insuffisante (Koebke 1979), ou non fiable (Harjeet *et al.* 2010). Son intérêt reste une information complémentaire pour renforcer une conclusion sur le profil biologique d'un individu.

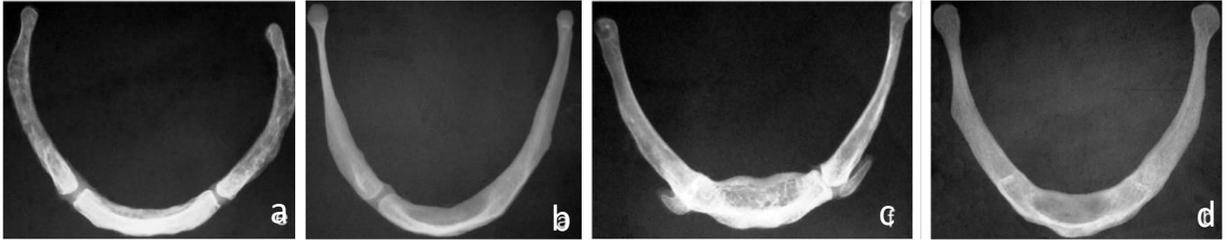


Figure 1.11 : Différents stades de fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde (d'après Harjeet *et al.* 2010)

3.1.3.2. L'influence du sexe

Le dimorphisme sexuel de l'os hyoïde est décrit dans plusieurs études concordantes, l'influence du sexe sur la forme et la taille de l'os serait plus nette que celle de l'âge.

a. Différences de taille et de forme de l'os hyoïde en fonction du sexe

- *Taille de l'os hyoïde*

En général, il semble que les femmes aient tendance à avoir des os hyoïdes plus petits que les hommes (Parsons 1909, Pollanen et Ubelaker 1997, Miller *et al.* 1998, Reesink *et al.* 1999). (Figure 1.12). Les différences de la longueur antéro-postérieure totale (Urbanová *et al.* 2013) et de celle des grandes cornes sont en particulier très significatives (Miller *et al.* 1998, Lekšan *et al.* 2005). Concernant la largeur, la moyenne pour les hommes est 2.6 cm contre 2.2 cm chez les femmes d'après les statistiques de Parsons (1909). Pour Ito *et al.* (2012), le volume calculé de l'os hyoïde est significativement plus grand chez les hommes.

Les dimensions du corps de l'os hyoïde sont également significativement plus grandes pour le sexe masculin (Urbanová *et al.* 2013). Sa hauteur est en moyenne de 1.2 cm chez les hommes et de 1 cm chez les femmes d'après Parsons (1909).

La taille de l'individu intervient comme co-facteur dans cette influence du sexe sur la taille de l'os hyoïde. En effet, les études montrent que la taille de l'os hyoïde est corrélée avec la taille (Urbanová *et al.* 2013), ce qui explique en partie les dimensions plus importantes observées chez les hommes.

- *Forme de l'os hyoïde*

Papadopoulos *et al.* (1985) et Lekšan *et al.* (2005) remarquent un taux d'asymétrie plus élevé chez les sujets féminins, mais cette différence ne serait pas significative pour Urbanová *et al.* (2013).

L'analyse de forme donne des résultats plus contradictoires : l'angle entre les grandes cornes est plus ouvert chez l'homme, selon Lekšan *et al.* (2005), chez la femme selon Ito *et al.* (2012). D'Souza *et al.* (2013) observent des formes en V plus

fréquentes chez les hommes : 56% contre 45 % chez les femmes tandis que Pollard *et al.* (2011) et Urbanová *et al.* (2013) décrivent des formes plus larges chez la femme.

O'Halloran et Laundry (1987) constatent un taux significativement plus élevé de fusion unilatérale chez les femmes. De plus, pour ces auteurs l'os hyoïde est plus fréquemment fusionné chez la femme que chez l'homme. Miller *et al.* (1998), Shimizu *et al.* (2005), Balseven *et al.* (2013) n'ont pas trouvé de différence significative selon le sexe.

Pour Gupta *et al.* (2008), la fusion apparaîtrait d'environ 5 ans plus précocement chez la femme, mais ce résultat n'est pas confirmé par d'autres auteurs (Miller *et al.* 1998, Harjeet *et al.* 2010, Balseven *et al.* 2013).

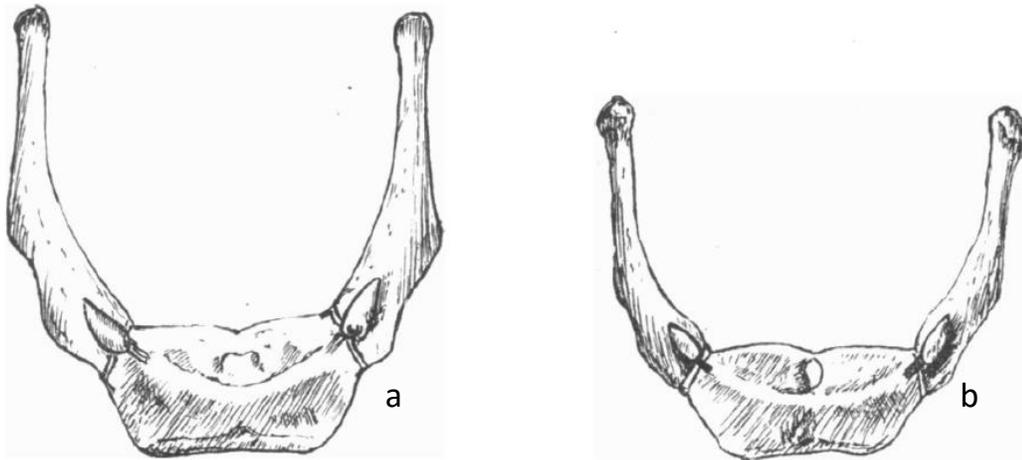


Figure 1. 12 : Forme et taille de l'os hyoïde masculin (a) et féminin (b) d'après Parsons (1909)

b. Fiabilité de la détermination du sexe à partir des données dimensionnelles de l'os hyoïde

Des études concernant le dimorphisme sexuel de l'os hyoïde basées sur des fonctions discriminantes atteignent un pourcentage de classement correct qui varie de 69 % (Miller *et al.* 1987) à 85 % (Kindschuh 2010) ou 88 % (Kim *et al.* 2006). La fiabilité de l'utilisation de l'os hyoïde dans la détermination du sexe est donc insuffisante, car le taux retenu en anthropologie biologique pour qu'un test soit fiable pour la diagnose du sexe est supérieur à 98 % (Bruzek 2002, Murail *et al.* 2005).

3.1.3.3. *L'influence de la population*

On trouve dans la littérature des études portant sur les paramètres de l'os hyoïde dans une population donnée : Caucasienne (Miller *et al.* 1987), Africaine, Asiatique (Shizimu *et al.*

2005, Kim *et al.* 2006), Indienne (D'Souza *et al.* 2013, Gupta *et al.* 2008), Turquie (Balseven *et al.* 2013), mais très peu d'études comparatives entre populations ont été conduites.

La seule étude dimensionnelle comparative entre populations est celle de Kindschuh (2011) qui compare les os hyoïdes de 100 sujets d'origine africaine et de 100 d'origine européenne. L'auteur note une différence significative au niveau de la largeur de l'os hyoïde : l'os hyoïde européen est en général plus large et plus court que l'os hyoïde africain, plus long et plus étroit.

Kim *et al.* (2006) comparent les résultats de leur échantillon coréen avec les résultats de Miller *et al.* (1998) sur une population caucasienne. Pour la plupart des mesures, à l'exception de la longueur des os hyoïdes masculins, les os hyoïdes asiatiques ont des valeurs plus grandes.

O'Halloran et Laundry (1987), dans leurs travaux sur l'âge de fusion des grandes cornes, analysent cet aspect populationnel dans un échantillon de 300 os hyoïdes d'origine différente (87% caucasienne, 6% africaine et 4% asiatique). Ils n'observent pas de différence significative quant à la fusion des grandes cornes au corps de l'hyoïde entre ces trois populations.

3.2. Morphologie des voies aériennes supérieures (VAS)

3.2.1. Méthodes d'étude

3.2.1.1. Céphalométrie conventionnelle sur téléradiographies

La céphalométrie est d'abord une méthode de mesure directe sur des crânes fixés dans un "craniophore" pour obtenir des projections dans les trois sens de l'espace que les anthropologues utilisaient autrefois. L'invention de la téléradiographie peu de temps après la découverte des rayons X et de la radiologie ainsi que la standardisation des clichés grâce à l'utilisation d'un céphalostat (introduit par Broadbent en 1925), ont permis d'établir la céphalométrie sur des téléradiographies de profil et de face.

Principalement utilisée dans l'étude des structures osseuses, dentaires et cutanées de l'ensemble crânio-facial, la céphalométrie sur téléradiographies de profil et de face peut aussi permettre d'évaluer les dimensions du pharynx et du palais mou, la position de la langue et de l'os hyoïde, les relations de l'os hyoïde avec le pharynx.

Cette méthode présente plusieurs avantages. C'est un examen facilement disponible, assez peu irradiant, intégré au protocole des examens radiologiques conventionnels de routine, avec des points de repères et des protocoles de mesure bien établis. Mais elle présente l'inconvénient majeur d'être un examen statique bi-dimensionnel.

Les mesures des VAS utilisées en céphalométrie sont la longueur et la hauteur sur le cliché sagittal (Figure I.13) et la largeur sur le cliché frontal. Les mesures sur les clichés frontaux sont peu utilisées dans la littérature et ne reposent pas sur des points de référence précis.

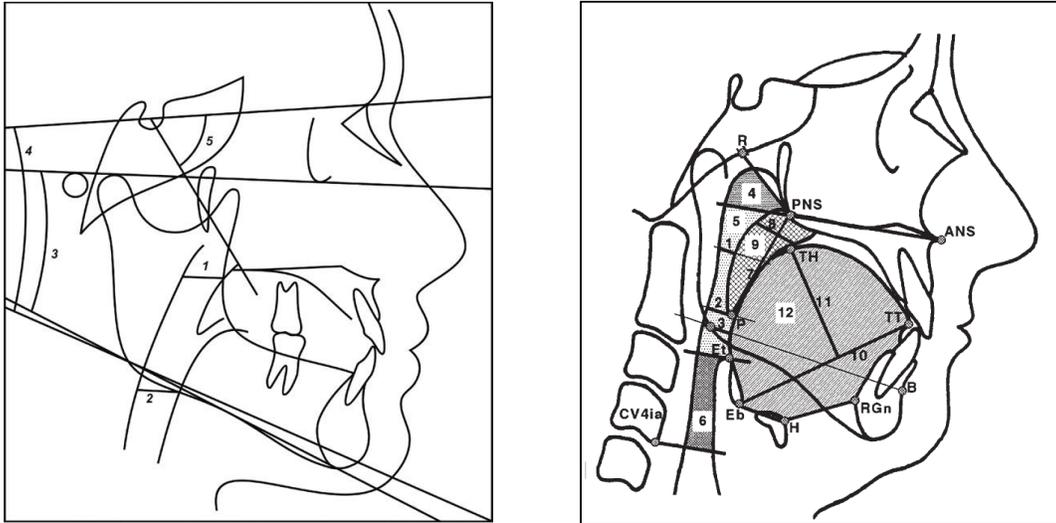


Figure I. 13 : Mesures des VAS fréquemment utilisées en céphalométrie (d'après Freitas et al. 2006)

3.2.1.2. Tomodensitométrie (TDM) et tomodensitométrie volumique à faisceau conique (CBCT)

Ces techniques d'imagerie médicale offrent un niveau de précision exceptionnel (Boyer *et al.* 2003, Aboudara *et al.* 2009, El et Palomo 2010, Gribel *et al.* 2011, Titiz *et al.* 2012, Alsufyani *et al.* 2012, Weissheimer *et al.* 2012, Hassan *et al.* 2013), la possibilité de visualiser aisément la morphologie des VAS, de mesurer leur volume et la surface de la zone de constriction maximale, très importante dans l'estimation de résistance au flux aérien, par des logiciels adaptés. La forme, les dimensions transversale et sagittale des coupes au niveau du nasopharynx, de l'oropharynx et l'hypopharynx peuvent être visualisées et calculées avec précision (Figure I.14) (Salvolini *et al.* 2000, Osorio *et al.* 2008, Yamashina *et al.* 2008, Iwasaki *et al.* 2009, Kim *et al.* 2010, Vizzotto *et al.* 2012, Siqueira *et al.* 2013)

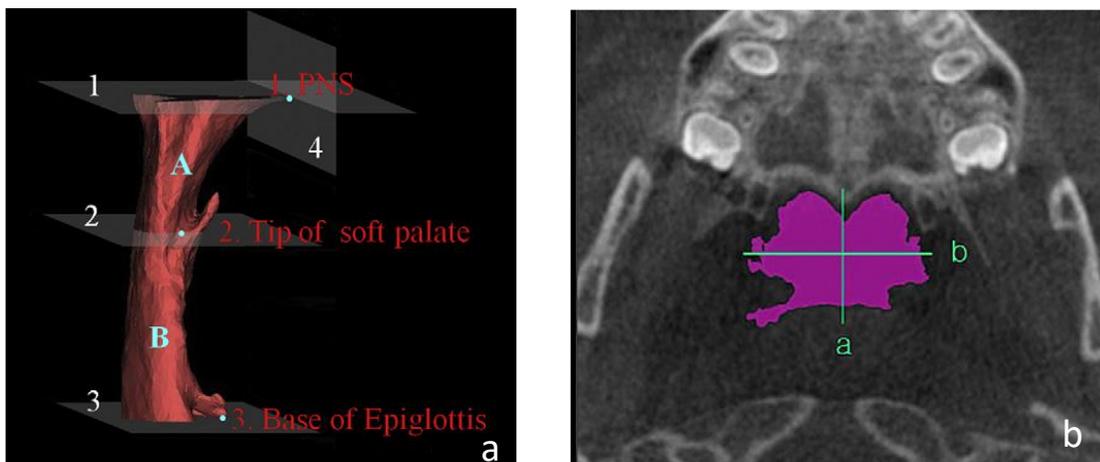


Figure I. 14 : Études tomodensitométriques des VAS

a : reconstruction tridimensionnelle (Yoshihara *et al.* 2012) ; b : mesures des surfaces de sections (Kim *et al.* 2010)

3.2.1.3. Autres méthodes

À côté des méthodes décrites ci-dessus, d'autres techniques permettent une investigation fonctionnelle des VAS que nous ne détaillerons pas. On peut citer ici :

- *la nasopharyngoscopie*, méthode d'évaluation de la forme et des anomalies de la cavité nasale, de l'oropharynx et des cordes vocales par observation directe, utilisée fréquemment par les oto-rhino-laryngologistes ;
- *la méthode par réflexion acoustique* ainsi que l'échographie, deux méthodes d'imagerie qui fournissent des informations limitées sur la forme des VAS ;
- *la fluoroscopie* qui offre une évaluation fonctionnelle dynamique des voies aériennes, mais implique un rayonnement ionisant ;
- *la tomographie de cohérence optique*, technique prometteuse qui permet l'évaluation quantitative de l'anatomie des VAS et leurs mouvements en temps réel (Armstrong *et al.* 2006) ;
- *les techniques de TDM et IRM dynamiques* qui ont été récemment introduites pour étudier les voies respiratoires en dynamique, et qui peuvent fournir des données fonctionnelles fondées sur les mesures de collapsibilité.

3.2.2. Influence des paramètres biologiques

Les voies aériennes supérieures sont un conduit virtuel dont les limites anatomiques sont définies par d'autres tissus qui déterminent leurs propriétés à des moments précis. Plusieurs paramètres biologiques ou pathologiques peuvent induire des modifications de taille et de forme des VAS.

3.2.2.1. Influence de l'âge

- *Au cours du développement :*

Les VAS subissent des modifications structurelles et fonctionnelles importantes qui affectent leurs dimensions, leur forme et leurs propriétés mécaniques.

Des études longitudinales sur des séries de téléradiographies ont permis de décrire la croissance en deux dimensions des VAS dans le contexte crânio-facial. La croissance du pharynx, conduit virtuel, a été évaluée d'abord indirectement par les structures osseuses qui le limitent. Brodie (1941) et King (1952) trouvent que la longueur antéro-postérieure du nasopharynx est établie durant les deux premières années de vie. Selon King (1952) l'augmentation du nasopharynx due à la croissance au niveau de la jonction sphéno-occipitale est minimisée par la croissance antérieure de la première vertèbre cervicale, ce qui garde la dimension sagittale du nasopharynx relativement constante après 2 ans. En revanche, la hauteur du nasopharynx augmente jusqu'à l'âge

adulte, grâce à la descente du palais dur et des vertèbres cervicales par rapport à la base du crâne (King 1952, Handelman et Osborne 1976).

Parallèlement à son augmentation par éloignement des structures osseuses, la taille du pharynx est réduite par la croissance du tissu lymphoïde, qui grandit continuellement pendant les dix premières années et atteint la taille maximale vers 10-11 ans avant d'involuer. Selon King (1952), la croissance du pharynx est continue de 3 mois à 16 ans, avec un pic pré-pubertaire chez les filles et un pic post-pubertaire chez les garçons. D'autres auteurs (Halderman et Osborne 1976, Linder-Aronson et Leighton 1983) constatent les mêmes phénomènes de croissance et précisent que la constriction des VAS est maximale chez les enfants autour de 5 ans en raison du volume maximal des végétations adénoïdes à cet âge.

Les études 3D récentes sur CBCT apportent plus de précisions sans contredire les conclusions classiques. Chiang *et al.* (2012) et Schendel *et al.* (2012) observent une croissance des VAS continue de 7 à 15 ans chez les filles et de 7 à 18 ans chez les garçons, avec une augmentation de volume et de hauteur plus importante chez les garçons autour de la puberté (12-15 ans). La surface de la zone de constriction maximale augmente avec l'âge.

Comparant enfants et adultes, Abramson *et al.* (2009) constatent une forme des VAS plus elliptique chez les adultes et plus variable chez les enfants.

- *Maturation et vieillissement :*

L'étude longitudinale de Kollias et Krogstad (1999) sur 50 sujets suivis tous les 10 ans de 22 ans à 42 ans, conclut que les dimensions sagittales de l'oropharynx et la plus petite distance entre la langue et le mur postérieur du pharynx diminuent avec l'âge chez l'adulte.

Pour Schendel *et al.* (2012) la taille des VAS diminue lentement à partir de 20 ans, puis plus rapidement après 40 ans. Cette diminution concerne le volume mais surtout la section la plus petite des VAS.

3.2.2.2. Influence du sexe

De nombreuses études céphalométriques comparent les longueurs antéro-postérieures, les hauteurs du nasopharynx, de l'oro-pharynx et de l'hypo-pharynx ainsi que la plus petite dimension des VAS entre les deux sexes. Elles montrent toutes l'absence de différence significative entre les garçons et les filles avant la puberté (Solow *et al.* 1984, Ceylan et Oktay 1995). Après la puberté, des différences apparaissent au niveau de la hauteur et de la longueur du naso-pharynx (Tsai 2007).

Les études en trois dimensions de Ronen *et al.* (2007) et de Chiang *et al.* (2012) confirment la différence de croissance des VAS après la puberté. Les sujets masculins ont une croissance des VAS plus importante après la puberté, conduisant à des VAS plus longues et plus larges, avec une surface de la zone de constriction maximale plus grande.

L'influence du sexe sur la sévérité du Syndrome d'Apnée Obstructive du Sommeil (SAOS) est également étudiée. Mohsenin (2001) démontre que la taille des VAS est corrélée à la gravité du SAOS chez les hommes mais pas chez les femmes. Malhotra *et al.* (2002) suggèrent que la prédisposition au collapsus pharyngé chez les hommes est due aux caractéristiques anatomiques de leurs VAS qui sont plus hautes et à leur palais mou plus volumineux.

3.2.2.3. Influence de la population

Il n'y a pas vraiment d'études en 2D ou en 3D qui comparent la taille et la forme des VAS entre les populations. Mais des études établissent des normes de dimensions pour des populations Européenne, Américaine, Coréenne, Chinoise et Nord-Indienne.

3.2.2.4. Influence des caractéristiques de la typologie faciale

De nombreuses publications dans la littérature reconnaissent depuis longtemps l'importance de la perméabilité des VAS pour un développement crânio-facial harmonieux (*e.g.* Rubin 1980, McNamara 1981, Klein 1986, Ung *et al.* 1990, Huang et Guillemainault 2012). En revanche, les différences significatives de taille et de forme des VAS selon la typologie faciale sont encore discutées en raison des résultats variés de plusieurs études, comme le constatent Indriksone et Jakobsone (2014) dans une revue systématique de la littérature.

a. Influence de la classe squelettique

Classiquement, la relation antéro-postérieure entre le maxillaire et la mandibule est décrite selon trois classes : la classe I où le maxillaire est en relation harmonieuse avec la mandibule, la classe II où le maxillaire est en position antérieure excessive (soit par protrusion maxillaire, soit par retrusion mandibulaire) et la classe III où le maxillaire est en retrait par rapport à la mandibule (soit par prognathie mandibulaire, soit par rétrognathie maxillaire).

Les VAS dans les rétrognathies mandibulaires sont significativement plus réduites que dans les autres typologies. Toutes les études (Grauer *et al.* 2009b, Kim *et al.* 2010, El et Palomo 2011, Claudini *et al.* 2013, Zheng *et al.* 2014) montrent que cette différence est surtout marquée au niveau de l'oropharynx (volume, surfaces de section). Les sujets en classe III squelettique présentent des VAS significativement plus grandes en taille au niveau de l'oro-pharynx et plus larges latéralement selon l'étude de Iwasaki *et al.* (2009). Cependant Grauer *et al.* (2009b) ne retrouvent pas de différences significatives.

b. Influence de la divergence faciale

Dans le sens vertical, en fonction de l'inclinaison de la mandibule par rapport à la base du crâne, on distingue 3 types de faces : face longue (hyperdivergent), face moyenne (mésodivergent) ou face courte (hypodivergent). Si Grauer *et al.* (2009) ne trouvent pas de différence de taille des VAS selon ces typologies, Haskell *et al.* (2013) observent quant à eux des VAS de forme plus elliptique chez les sujets à face longue.

Wang *et al.* (2014), chez des adultes en classe II squelettique, étudient l'influence de la typologie verticale sur les dimensions des VAS et constatent que les hyperdivergents ont des VAS significativement plus étroites.

c. Influence des types transversaux

Nous ne trouvons pas de référence concernant les corrélations entre les caractéristiques dimensionnelles des VAS et la typologie transversale. Quelques études évaluant les modifications des voies aériennes après expansion transversale du maxillaire ont été menées sur des téléradiographies frontales et révèlent un élargissement post-thérapeutique des cavités nasales (Gungor *et al.* 2012). Récemment, les mêmes études réalisées sur CBCT permettent de calculer réellement les modifications dimensionnelles du nasopharynx et elles constatent une augmentation de 24 % de la largeur transversale et de 53.87 % de la surface au niveau de la deuxième vertèbre cervicale après expansion (Vinha *et al.* 2015).

3.2.2.5. *Influence des facteurs pathologiques*

Le Syndrome d'Apnée Obstructive du Sommeil (SAOS) est un des troubles respiratoires les plus importants qui a donné lieu à de nombreuses publications récentes. La plupart des travaux sont basés sur les études céphalométriques des caractéristiques des VAS et des changements de morphologie crânio-faciale chez ces sujets, avec des résultats variés (Kawashima *et al.* 2003, Wong *et al.* 2005, Zhong *et al.* 2010). La revue systématique de la littérature de Katyal *et al.* (2013) montre que la taille des VAS est significativement plus petite chez les enfants souffrant de SAOS et que la rétromandibulie est la typologie la plus fréquente chez eux. Pourtant, cette revue systématique suggère aussi la nécessité d'études tridimensionnelles plus précises. Parmi les rares travaux réalisés en trois dimensions, l'étude d'Alves *et al.* (2011) met en évidence des volumes et des surfaces de section minimales significativement plus faibles chez les enfants respirateurs buccaux tandis que les longueurs antéro-postérieures ne montrent aucune différence.

D'autres pathologies comme certaines anomalies congénitales, les conséquences des traumatismes, sont également abordées mais moins fréquemment. Les valeurs de VAS sont significativement plus petites chez des adolescents atteints de fentes palatines selon Yoshihara *et al.* (2011).

3.3. Position de l'os hyoïde

La position de l'os hyoïde est étudiée exclusivement sur des clichés téléradiographiques en mesurant ses relations sagittales et verticales avec les structures crânio-faciales telles que la base du crâne, le maxillaire, la mandibule et les vertèbres cervicales (Charon 1960, Créto 2000, Malkoc *et al.* 2005) (Figure I.15).

L'évolution de la position de l'os hyoïde durant la croissance ou la maturation, ses différences en fonction des paramètres biologiques (sexe, âge, typologie faciale), ou pathologiques et ses modifications post-thérapeutiques (interventions orthopédiques ou chirurgicales) ont été plus ou moins étudiées.

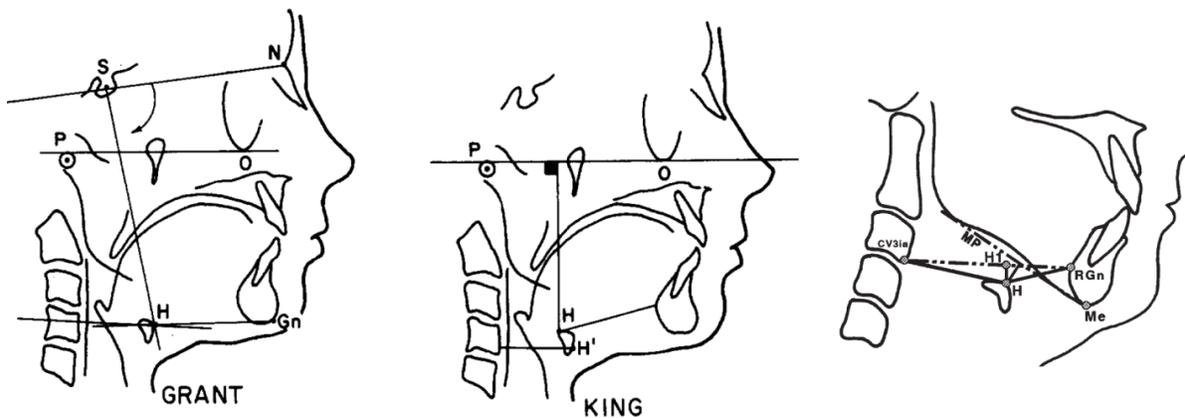


Figure I. 15 : Mesures de position de l'os hyoïde proposées par différents auteurs (d'après Stepovich 1992)

3.3.1. Influence des paramètres biologiques

3.3.1.1. Influence de l'âge

a. Évolution dans la petite enfance

King (1952) montre que durant les trois premières années de la vie, simultanément avec la descente du larynx dans le cou, l'os hyoïde effectue une migration verticale rapide et une migration de moindre amplitude dans le sens antéro-postérieur.

Chez le nourrisson, l'os hyoïde borde en avant le cartilage thyroïde au contact de son bord supérieur. Il est initialement haut situé : en regard des premières vertèbres cervicales (C1, C2). En effet le nouveau-né humain, comme tous les Primates, n'a pas d'oropharynx, mais présente une situation haute du larynx, de l'os hyoïde et de l'épiglotte, placée juste en arrière du voile du palais, ainsi qu'une langue entièrement intra orale. Puis une migration crânio-caudale éloigne l'os hyoïde du corps mandibulaire pour permettre une plus grande amplitude des fonctions oro-pharyngées et oro-laryngées. Ce déplacement cesse quand l'os hyoïde se projette en regard du

plateau supérieur de la 4^e vertèbre cervicale (C4) chez la femme, et en regard de son plateau inférieur chez l'homme.

b. De l'enfance à l'adolescence

L'étude longitudinale de Durzo et Brodie (1962) sur 5 séries de téléradiographies frontales et latérales de sujets présentant une croissance normale montre que la situation de l'os hyoïde par rapport à la mandibule est stable à partir de l'âge de 3 ans, âge qui correspond à l'acquisition du langage.

Jusqu'à la puberté, la distance antéro-postérieure entre l'os hyoïde et les vertèbres cervicales est constante d'après King (1952). À partir de la puberté, l'os hyoïde se déplace légèrement vers l'avant.

Verticalement l'os hyoïde est situé entre la partie inférieure de C3 et la partie supérieure de C4 selon les constatations de Druzo et Brodie (1962) ou de Bench (1963). Sénécaïl (1979) remarque que l'os hyoïde est au niveau du plateau supérieur de C3 à l'âge de 6-7 ans et ne descend pas en dessous de ce niveau jusqu'à l'âge de 12 ans.

À la puberté, la position verticale de l'os hyoïde présente une évolution considérable selon la plupart des auteurs (King 1952, Sénécaïl 1979, Lafforgue 1984, Taylor *et al.* 1996). L'os hyoïde effectue alors un déplacement vers le bas par rapport au crâne. Talmant (1976) explique ce mouvement de descente et de léger avancement de l'os hyoïde par une compensation hyoïdienne à la macroglossie passagère due à la croissance linguale sagittale en cette période afin de libérer le couloir oro-pharyngé. Par ailleurs, Talmant (1976) souligne que le terme «descente de l'os hyoïde» est inadapté car c'est la croissance crânio-faciale qui éloigne l'os hyoïde de la base du crâne, et la croissance axiale des cartilages des corps vertébraux joue le rôle déterminant dans ce déplacement de l'os hyoïde.

Prenant des repères essentiels sur la base du crâne et sur la mandibule, Taylor *et al.* (1996) montrent que le déplacement hyoïdien est globalement en harmonie avec la direction en bas et en avant de la croissance ontogénique du squelette facial. Selon ces auteurs, le déplacement vers l'avant de la mandibule contribue probablement au déplacement antérieur de l'os hyoïde, pendant que la croissance des vertèbres cervicales contribue à sa position plus basse. Toutes ces constatations confirment le rôle important de la croissance crânio-faciale sur les déplacements apparents de l'os hyoïde.

c. À partir de l'âge adulte

Les modifications de position verticale de l'os hyoïde chez l'adulte ont été décrites par Tallgren et Solow (1987) après une étude transversale sur un échantillon de 190 femmes finlandaises réparties en trois groupes d'âges : 20-29 ans, 30-49 ans et 50-81 ans. Ces auteurs constatent que les distances verticales de l'os hyoïde à la base du crâne et au maxillaire

augmentent significativement dans les deux groupes les plus âgés (Figure I.16). Ce phénomène est en harmonie avec l'augmentation de la hauteur de l'étage facial inférieur observée dans ces groupes âgés.

Kollias et Krogstad (1999), dans une étude longitudinale de sujets de 22 à 42 ans, rejoignent les conclusions de Tallgren et Solow (1987) sur la stabilité relative de la position verticale de l'os hyoïde par rapport aux vertèbres et la différence de sa position verticale par rapport à la base du crâne ou la mandibule.

Comme Kollias et Krogstad (1999), Pea et *al.* (2008) dans une étude longitudinale sur 15 ans d'adultes de 30-72 ans montrent que la position relative de l'os hyoïde par rapport à la mandibule évolue avec l'âge : la distance os hyoïde-plan mandibulaire augmente et l'angle entre les points gonion, hyoïde et menton (Go-Hy-Me) diminue.

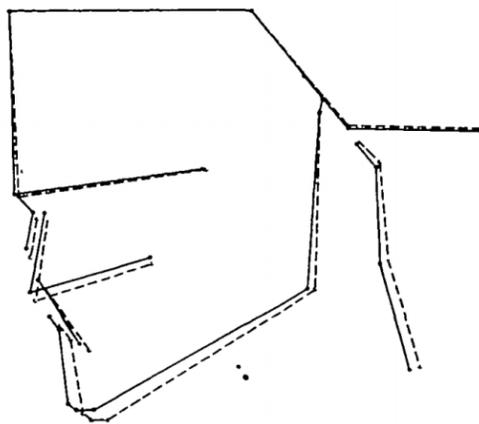


Figure I. 16 : Diagramme illustrant les différences de morphologie faciale et de position de l'os hyoïde entre les groupes A (20-29 ans) et B (30-49 ans).
(D'après Tallgren et Solow 1987)

Les tracés sont superposés sur la ligne de la base du crâne Selle-Nasion.

———— : Groupe A (20-29 ans n=81)

----- : Groupe B (30-49 ans n=64)

3.3.1.2. Influence du sexe

La position de l'os hyoïde dans les deux sexes n'a pas été comparée systématiquement. On peut cependant trouver quelques résultats dans le cadre d'études visant à établir des normes céphalométriques ou à évaluer la position de l'os hyoïde en période de croissance ou en cas de pathologie.

- Bibby et Preston (1981) ont étudié un échantillon de 28 filles et 26 garçons en classe I et ne trouvent aucun dimorphisme sexuel affectant la position de l'os hyoïde chez ces enfants de 12.5 à 13 ans. Plus récemment, Tsai (2002) note le même fait chez des jeunes enfants avant l'adolescence.
- Sénécaïl (1979) observe une différence d'évolution de la position verticale de l'os hyoïde entre filles et garçons après la puberté. Il constate que l'os hyoïde des filles arrête sa descente au niveau du plateau supérieur de C4, alors que la migration continue chez le jeune garçon pour atteindre le plateau inférieur de C4. Les distances de l'os hyoïde avec

la vertèbre C3, le menton, l'épine nasale postérieure sont plus grandes chez les garçons à l'âge de la denture complète pour Sheng *et al.* (2009).

- Chez l'adulte, l'os hyoïde est significativement plus postérieur et plus haut chez les femmes, que ce soit chez des sujets en normo-occlusion dans l'étude de Sahin Sağlam *et al.* (2006) ou chez des sujets porteurs de dysmorphoses maxillo-mandibulaires dans l'étude de Harding-Kaba *et al.* (2008), de Marşan *et al.* (2008). Haralabakis *et al.* (1993) constatent les mêmes différences de distance os hyoïde - vertèbres entre hommes et femmes chez des sujets présentant des béances antérieures.

3.3.1.3. Influence de la population

Les comparaisons de la position de l'os hyoïde entre différentes populations restent rares dans la littérature.

L'étude de Lee *et al.* (1997) sur les variations des normes céphalométriques entre des populations européennes, africaines et latino-américaines ne révèle pas de différence de position de l'os hyoïde entre ces populations. Lee *et al.* (1997) remarquent simplement que les différences de distance entre l'os hyoïde et le plan mandibulaire en fonction du sexe ne sont significatives que chez les Caucasiens.

Les études de populations ciblées comme celle de Sağlam *et al.* (2006) sur un échantillon turc, de Jiang *et al.* (2015) sur un échantillon chinois ou de Shastri *et al.* (2015) sur un échantillon nord-indien déterminent des normes pour chaque population pourraient être comparées mais les mesures utilisées ne sont pas identiques et rendent donc la méta-analyse impossible.

3.3.2. Influence de la typologie faciale

3.3.2.1. Types sagittaux : classes squelettiques

Plusieurs auteurs ont tenté de mettre en évidence des relations entre la position hyoïdienne et la classe squelettique des sujets (*eg.* Cole 1988, Ceylan 1995, Pae *et al.* 2008, Jose *et al.* 2014). Leurs résultats montrent plutôt une bonne stabilité de la situation hyoïdienne quelle que soit la typologie sagittale. Sosa *et al.* (1982) notent que la situation sagittale de l'os hyoïde par rapport au rachis est similaire dans les différentes classes squelettiques.

Adamidis et Spyropoulos (1992) étudient la différence de position de l'os hyoïde en occlusion d'intercuspidation maximale et en ouverture maximale entre les sujets en classe I et en classe III squelettiques. La position de l'os hyoïde diffère chez les garçons en classe III, où il est nettement plus proche de la mandibule ou du maxillaire (Figure I.17).

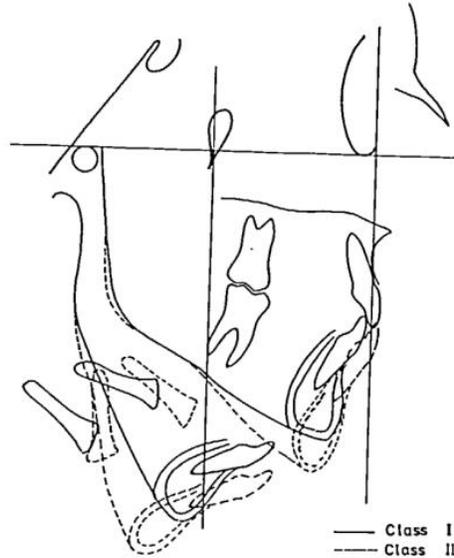


Figure 1. 17 : Position de l'os hyoïde dans les classes I et III, d'après Adamidis et Spyropoulos (1992)

3.3.2.2. Types verticaux

Doual *et al.* (2003) en analysant la position de l'os hyoïde en fonction de la divergence, trouvent que quand la divergence faciale augmente (sujets hyperdivergents), le corps de l'os hyoïde se rapproche verticalement de l'épine nasale postérieure et de l'angle mandibulaire et s'éloigne verticalement du point menton ; l'orientation des grandes cornes suit la divergence faciale, préservant ainsi le parallélisme de l'os hyoïde avec la mandibule.

Pea *et al.* (2008) constatent, comme Doual *et al.* (2003), que chez les hypodivergents, avec l'horizontalisation du plan mandibulaire, l'os hyoïde se trouve plus éloigné de la symphyse de la mandibule. Les sujets hyperdivergents ont, au contraire, la distance os hyoïde-symphyse mandibulaire la plus petite.

D'après Pea *et al.* (2008), la différence entre les sujets brachyfaciaux et les deux autres types se manifeste également par la stabilité de position de l'os hyoïde avec l'âge. Les mesures des mêmes sujets 15 ans plus tard montrent, en effet, des changements importants de position de l'os hyoïde chez les hyper- et méso-divergents : la distance os hyoïde-plan mandibulaire augmente et l'angle Go-Hy-Me diminue significativement, tandis que ces valeurs restent stables chez les hypodivergents. Ces auteurs expliquent cette constatation par la relation avec les VAS : ils pensent que les sujets hypodivergents présentent moins de modifications des VAS avec l'âge et moins de changement positionnel adaptatif de l'os hyoïde. Les auteurs pensent alors qu'à cause du déplacement limité de l'os hyoïde, les sujets hypodivergents présenteront moins de capacité d'adaptation si leurs VAS sont obstruées.

3.4. Relation entre la position de l'os hyoïde et la taille des VAS

La relation fonctionnelle entre l'os hyoïde et les VAS a été confirmée par plusieurs auteurs. Bench (1963) ainsi que Bibby et Dent (1984) accordent à l'os hyoïde un rôle important pour maintenir la perméabilité du couloir pharyngé.

Les chercheurs ont ensuite étudié le comportement de l'os hyoïde en fonction des modifications de taille des VAS que ce soit dans les différents types faciaux ou dans des situations pathologiques ou post-interventionnelles (*eg.* Behlfelt *et al.* 1990, Faure et Casteigt 1999, Tselnik et Pogrel 2000, Eggensperger *et al.* 2005, Park *et al.* 2010, Aydemir *et al.* 2012, Kim *et al.* 2013, Efendiyeva *et al.* 2014, Kirkness *et al.* 2014, Al-Moraissi *et al.* 2015, Shin *et al.* 2015).

Tourné (1991), dans une étude de la croissance du pharynx affirme que les principaux facteurs influençant le positionnement de l'os hyoïde sont la stabilité et la perméabilité des voies aériennes au niveau du pharynx. Selon cet auteur, l'os hyoïde descend par rapport à la mandibule pour maintenir un diamètre antéro-postérieur des VAS relativement constant.

En 1983, Adamidis et Spyropoulos, suivant Linder-Aronson (1970), étudient les effets de l'hypertrophie des végétations adénoïdes sur la position de la langue, de la mandibule et de l'os hyoïde. Ils constatent une verticalisation de l'axe hyoïdien (corps-grandes cornes) par rapport au plan palatin et au plan de la base du crâne (Na/Ba), ainsi qu'un éloignement de l'os hyoïde par rapport au plan palatin dans la dimension verticale. Ces changements pourraient être dûs simplement à une face plus longue. Behlfelt (1990), comme Linder-Aronson (1970), constatent qu'en cas d'hypertrophies amygdaliennes, l'os hyoïde s'abaisse, entraînant avec lui la langue, pour permettre la ventilation orale. Cependant, selon ces auteurs, la distance sagittale entre l'os hyoïde et le rachis cervical ne varie pas entre sujets sains et ventilateurs buccaux. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Bibby en 1984.

Récemment, les relations entre la typologie faciale, la taille des VAS et la position respective de l'os hyoïde en cas d'apnée obstructive du sommeil ont fait l'objet de nombreuses études. Il semble que par absence de contraction des muscles génio-glosse et génio-hyoïdien, un mouvement de recul simultané de la langue et de l'os hyoïde se produise entraînant une obstruction importante des voies aërières selon les études de Chabolle *et al.* (1990).

Nous n'avons pas trouvé de travaux évaluant en 3D les impacts des modifications de taille des VAS sur la position de l'os hyoïde. Notre travail tentera d'apporter des éléments de réponses sur ce point.

4. L'os hyoïde en paléanthropologie

4.1. Aspects phylogéniques

Situé en territoire charnière et sollicité par plusieurs fonctions vitales, en particulier par la ventilation, l'os hyoïde n'est pas un simple témoin de l'évolution des premiers Vertébrés à

l'Homme. Vestige des 2^{ème} et 3^{ème} arcs branchiaux, sa morphologie et son rôle fonctionnel ont subi une évolution importante au cours de la phylogénèse.

4.1.1. Origine du squelette viscéral

C'est en 1825 que Rathke découvre les «fentes branchiales et les arcs viscéraux» sur un embryon de porc. Chez les Procordés, la branchiomérie tient un rôle respiratoire et digestif, réalisant un premier «squelette viscéral». Chez les Chordés, la branchiomérie régresse, se limite à la région antérieure du tube digestif et organise le squelette viscéral qui contient successivement l'arc mandibulaire, l'arc hyoïdien et les arcs branchiaux (Grassé 1954). Chez les Poissons Chondrichthyens, le squelette viscéral se différencie en chondrocrâne formé :

- d'une part, du neurocrâne comprenant les trabécules, les cartilages polaires et les capsules sensorielles olfactives, optiques et otiques ;
- d'autre part, du viscérocrâne composé des arcs viscéraux suivants : l'arc mandibulaire, l'arc hyoïdien et les premiers arcs branchiaux.

4.1.2. Descente de l'os hyoïde et du larynx chez l'Homme

Chez les Mammifères, le larynx est haut situé, très proche du nasopharynx, et participe principalement à la fonction ventilatoire. L'oro-pharynx est quasi inexistant et la langue est située exclusivement dans la cavité orale (Laitman et Reidenberg 1993, Talmant 1995).

Chez les Hominidés le passage à la station verticale entraîne une descente de l'os hyoïde, qui s'éloigne au-dessous du menton. Cette descente libère l'espace pharyngo-laryngé suprahyoïdien. La descente de l'os hyoïde et du larynx, phénomène du développement phylogénique, se retrouve aussi lors du développement postnatal chez l'Homme (Doual-Bisser *et al.* 1989, Talmant et Renaudin 1995, 1996, Talmant *et al.* 1996, Ella *et al.* 2000) (*Cf cf.supra* 2.3.1.1) (Figure I.18).

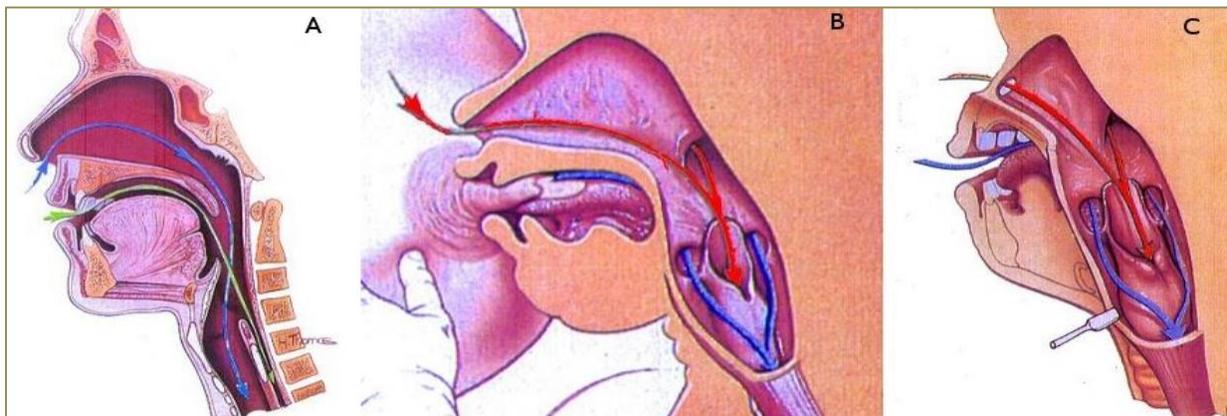


Figure I. 18 : Passage de l'air et des aliments

A : chez les Hommes adultes ; B : chez les nouveau-nés ; C : chez les chimpanzés (Image sur www.sirtin.fr)

Selon l'hypothèse du rôle de l'os hyoïde dans l'évolution du langage, la descente post-natale de l'os hyoïde par rapport au palais et à la mandibule, phénomène unique chez l'Homme, est un prérequis anatomique pour que le conduit vocal supralaryngé (SVT⁴- Supralaryngeal Vocal Tract) soit capable de produire les sons (Lieberman 2001). En fait, le SVT est composée de deux cavités : le SVT horizontal qui est la cavité buccale, comprise entre les lèvres et le mur pharyngé postérieur et le SVT vertical, l'espace pharyngé entre le voile du palais et les cordes vocales (Figure I.19). Chez les mammifères non-humains, le SVT vertical est beaucoup plus court que le SVT horizontal, l'épiglotte est fixée sur le cartilage thyroïde et maintient le contact avec le voile du palais, empêchant le SVT vertical de faire face à la langue mobile (Figure I.18 A et B). Cette anatomie empêche la cavité pharyngienne de participer comme un résonateur (Nishimura *et al.* 2006).

La descente du larynx oblige l'épiglotte à descendre par rapport au voile du palais (Sasaki *et al.* 1977, Crelin 1987, Westhorpe 1987, Fitch et Giedd 1999, Vorperian *et al.* 1999, 2005). Ceci établit un long oropharynx, ainsi, le SVT vertical s'allonge rapidement par rapport au SVT horizontal et peut fonctionner comme un tube de résonance d'un volume équivalent (Lieberman 1984, Crelin 1987, Titze 1994, Fitch 2000) (Figure I.20). Ces caractéristiques permettent aux formes des SVT horizontal et vertical à être modifiées séquentiellement et rapidement par les mouvements de la langue, semi indépendamment les uns des autres (Lieberman *et al.* 1969, Lieberman 1984, Fitch 2000, Fitch et Hauser 2003). Ainsi, les humains sont capables d'une vaste modification des propriétés de résonance du SVT, qui à son tour modifie les sons laryngés, formant les phonèmes séquentielles complexes de la parole en une seule courte exhalation (Nishimura *et al.* 2006).

De plus, par cette descente, le larynx devient complètement mobile, suspendu, permettant une meilleure modulation vocale, l'articulation des sons de la parole devient possible grâce à l'indépendance de la racine de la langue par rapport à la langue mobile antérieure.

Cependant, il est à noter que cette évolution vers une fonction phonatoire du larynx se fait au détriment des fonctions de protection des voies respiratoires qu'assure le larynx dans les autres espèces. La plupart des Vertébrés ont un accolement de l'os hyoïde au cartilage thyroïde qui empêche le contrôle indépendant de la langue et du larynx (Honda *et al.* 1994) mais qui évite les collapsus respiratoires.

⁴ L'abréviation anglaise SVT, utilisée unanimement dans des articles, sera reprise dans la thèse.

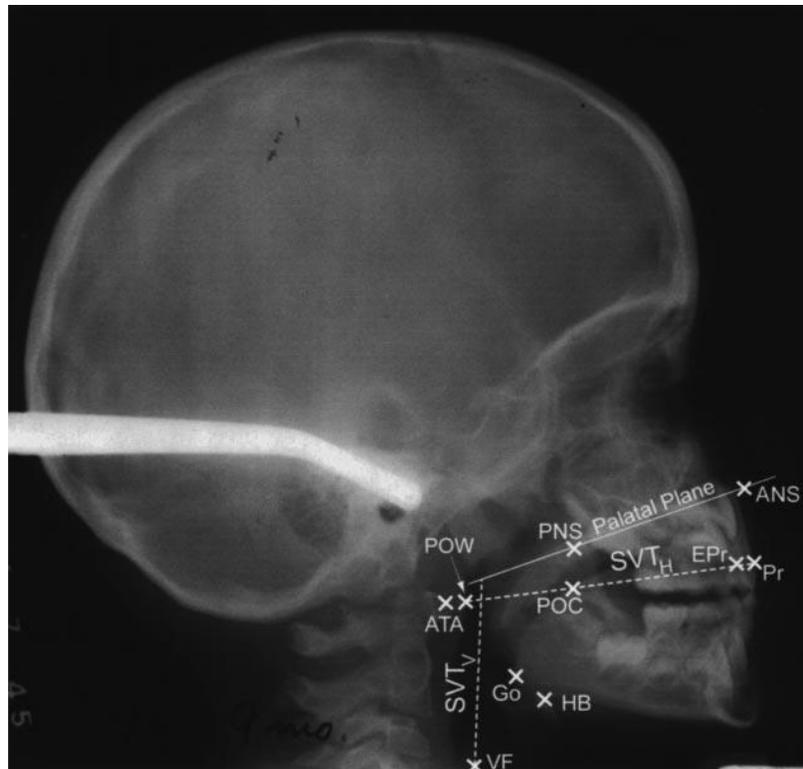


Figure I. 19 : Le conduit vocal supralaryngé (SVT) horizontal et vertical
(D'après Lieberman et al. 2001)

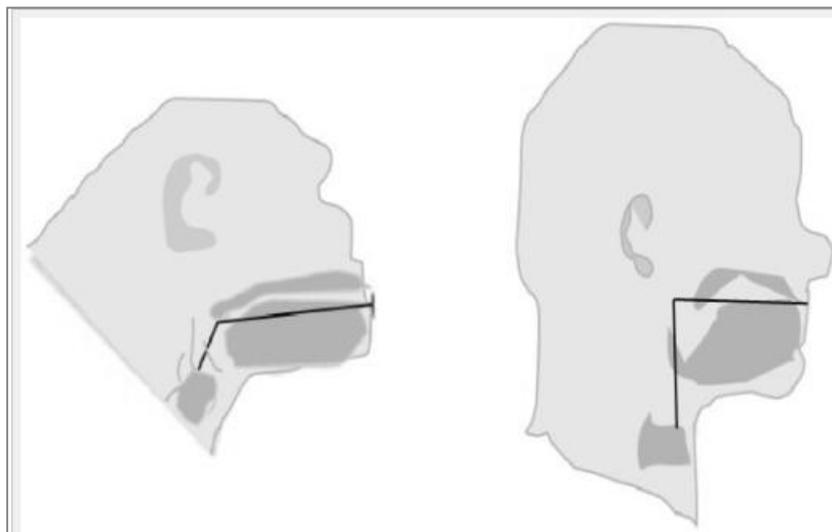


Figure I. 20 : Le rapport SVT horizontal et vertical chez les chimpanzés (gauche) et chez l'Homme (droite)
(D'après Lieberman et McCarthy 2007)

4.2. L'os hyoïde dans les études paléoanthropologiques

Étant un élément très fragile du squelette, sans connexion avec les autres os et de petite taille, l'os hyoïde à l'état fossile n'est représenté que par quelques spécimens permettant des études anthropologiques.

- Deux spécimens datés du Paléolithique moyen, celui de Kébara en Israël (daté de ca. 60 ka) et celui d'El Sidron en Espagne, sont décrits comme très peu différents des os hyoïdes d'Hommes actuels (Arensburg *et al.* 1989, 1990 ; Rodriguez *et al.* 2003) (Figure I.21).
- Plusieurs spécimens pré-néandertaliens de la Sima de Los Huesos, en Espagne (datés d'au moins 530 ka), présentent également des caractéristiques d'Homme moderne (Martinez *et al.* 2008).
- L'os hyoïde d'*Australopithecus afarensis* provenant du site de Dikika en Éthiopie (3,3 Ma), d'un enfant de 3 ans appelé encore "Selam", ressemble plus à celui d'un chimpanzé qu'à celui d'un être humain (Alemseged *et al.* 2006.)

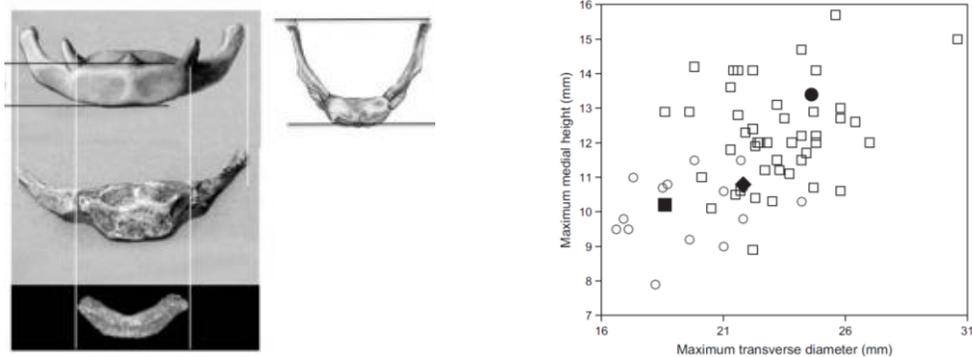


Figure I. 21 : Comparaison de la hauteur du corps et de la longueur de l'os hyoïde chez l'Homme actuel et les fossiles.

Carrés ouverts : Hommes modernes ; Ronds ouverts : femmes modernes ; Rond noir : Kébara 2 ; Rhombe noir : Atapuerca AT 1500 ; Carré noir : Atapuerca AT 2000 (d'après Martinez *et al.* 2008)

4.2.1. Étude du rôle de l'os hyoïde dans l'évolution du langage

Les conclusions des recherches sur le rôle de l'os hyoïde dans le développement du langage ne font pas consensus.

Pour Lieberman et Crelin (1971), Lieberman *et al.* (1972), Lieberman (1984), ce serait la flexion de la base du crâne qui serait l'indicateur prépondérant de la capacité au langage. D'autres auteurs émettent des réserves sur les reconstitutions proposées (Carlisle et Siegel 1974, Le May 1975, Falk 1975, Burr 1976, Arensburg *et al.* 1990).

Arensburg *et al.* (1988) ont insisté sur les similitudes anatomiques que présente Kébara 2 avec les hommes modernes et déduisent que rien ne s'oppose à ce que les populations du Paléolithique moyen soient anatomiquement capables de langage.

Böe *et al.*, en 2011, après reconstruction du conduit vocal de divers fossiles de la lignée humaine (Figure I.21) déclarent que depuis l'acquisition de la bipédie, la morphologie du conduit vocal de nos ancêtres diffèrerait peu de celle de l'Homme actuel et qu'elle permettait de produire tous les sons s'ils disposaient des capacités de contrôle suffisantes.

Steel *et al.* (2013), dans leur étude comparative des os hyoïdes de trois taxons *Homo sapiens*, *Pan troglodytes* et *Gorilla gorilla*, ont considéré la morphologie de l'os hyoïde comme un marqueur important de la capacité de langage

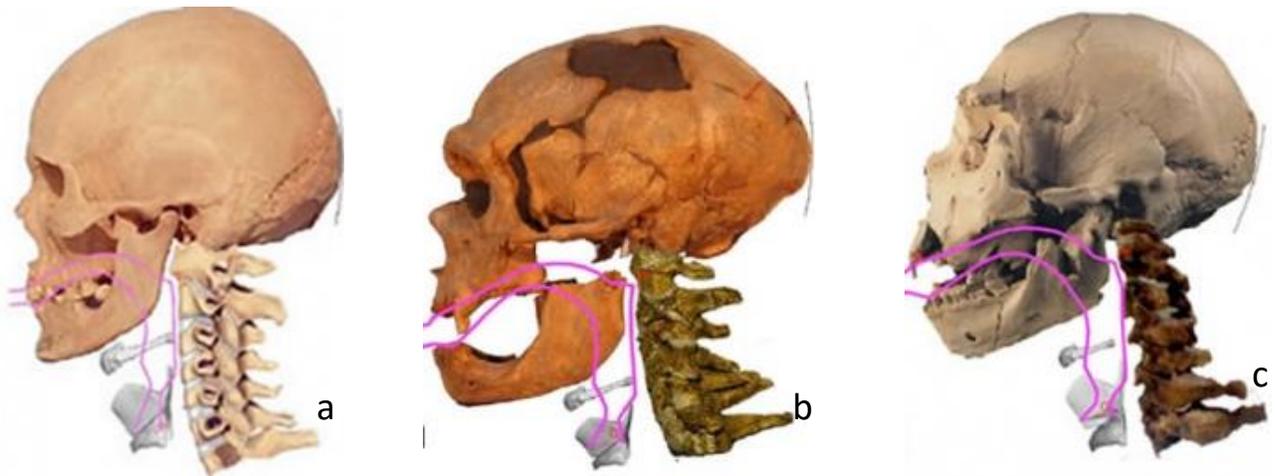


Figure I. 22 : Reconstruction du conduit vocal du sujet masculin de l'Homme moderne (a), d'un Néanderthalien (La Chapelle-aux-Saints) (b) et d'un spécimen d'Atapuerca (c) (Böe *et al.* 2011)

4.2.2. Détermination du sexe et de l'âge

La détermination de l'âge et du sexe pour reconstruire un profil biologique fait partie des premiers travaux des anthropologues ou des anthropologues médico-légaux devant un fossile ou un corps non identifié. L'analyse de l'os coxal est la méthode d'observation la plus fiable pour déterminer le sexe (Bruzek 2002, Murail *et al.* 2005). Pourtant, dans les cas où les fossiles ou les restes osseux sont incomplets, plusieurs facteurs doivent être considérés. Récemment, D'Anastasio *et al.* (2014), ont proposé d'estimer le sexe des individus dans des sites archéologiques à partir des caractéristiques du corps de l'os hyoïde : ils obtiennent un pourcentage de fiabilité variant de 75 % à 88 %, justifiant selon eux l'intérêt des os hyoïdes dans cette démarche.

5. Conclusion : état de l'art et objectifs

5.1. État de l'art

Si on fait un point de l'état de l'art, il est possible de résumer ci-dessous les problématiques qui nécessitent plus d'investigations :

- Le dimorphisme sexuel de taille et de forme de l'os hyoïde est suggéré chez les sujets adultes mais peu étudié chez les enfants. De plus, la différence de croissance de l'enfance à l'âge adulte entre les deux sexes soulève des interrogations et les différences entre des populations n'ont pas été étudiées systématiquement.
- Les classifications de forme de l'os hyoïde ne font pas consensus et ne sont pas faciles à appliquer.
- Les corrélations dimensionnelles et morphologiques entre l'os hyoïde et les VAS n'ont pas été décrites en 3D
- L'analyse de la relation os hyoïde/VAS dans des contextes biologiques différents requiert plus de précisions.

5.2. Objectifs

Afin d'apporter des éléments répondant aux problématiques résumées ci-dessus, les objectifs de notre étude sont donc :

- d'analyser les variations de taille et de forme de l'os hyoïde entre sexes, entre enfants et adultes et entre populations,
- de proposer, d'après l'analyse précédente, une classification simple mais adéquate reposant sur des critères mesurables et reproductibles,
- de dégager des corrélations tridimensionnelles jamais décrites entre la taille et la forme de l'os hyoïde avec la taille et la forme des VAS,
- enfin de décrire les relations positionnelles de l'os hyoïde avec les structures crânio-faciales dans différents types faciaux.

Chapitre II :
MATÉRIELS et MÉTHODES

Chapitre II : MATÉRIELS et MÉTHODES

1. Matériels

1.1. Justification de l'utilisation des CBCT

1.1.1. Critères de choix du matériel d'étude

Pour répondre à nos objectifs de recherche, il faut que les examens radiographiques utilisés :

- permettent une évaluation tridimensionnelle des VAS et de l'os hyoïde ainsi que l'observation et l'étude de l'ensemble de la face et du cou dans les plans frontal et sagittal (champs étendu de la base du crâne jusqu'à au moins la 4^{ème} vertèbre cervicale) ;
- soient collectés en nombre suffisant et en quantité équivalente pour les sous-échantillons hommes et femmes et surtout entre enfants et adultes ;
- soient disponibles pour chaque population étudiée (ici en France et au Vietnam) pour autoriser leur comparaison.

Les téléradiographies de profil et de face sont incontournables pour étudier la position de l'os hyoïde et les types faciaux, mais insuffisantes pour évaluer en trois dimensions la forme et la taille de l'os hyoïde et des VAS.

Les examens tomodensitométriques (TDM) de la face et du cou, à partir desquels les unités anatomiques étudiées peuvent être reconstruites en 3D et qui permettent de générer des clichés téléradiographiques, répondent aux impératifs de notre étude. Pourtant, la recherche de ces TDM n'a pas permis d'en collecter suffisamment surtout pour les enfants (échantillon que nous aimerions développer). L'irradiation assez importante et le coût élevé de cet examen restreignent son indication à des pathologies tumorales ou traumatiques et à l'exploration de régions limitées (soit cérébrale, soit faciale partielle) qui ne permettent pas d'inclure ces sujets à notre étude.

De plus, les examens TDM sont réalisés sur le sujet en décubitus dorsal, position qui risque de modifier la forme et la taille des VAS par rapport à la posture habituelle que nous voulons étudier. Nous n'avons donc pas retenu ce matériel.

Au début de notre travail, de nombreuses études ont été publiées sur l'utilisation de la tomographie volumétrique à faisceau conique (*Cone Beam Computed Tomography* - CBCT⁵) dans l'évaluation des VAS (eg. Ogawa *et al.* 2005, De Vos *et al.* 2009, Lenza *et al.* 2010). Ces publications

⁵ L'abréviation anglaise "CBCT", internationalement reconnue et couramment utilisée dans les publications, sera le terme retenu dans ce travail.

prouvent leur qualité de la résolution d'image avec la TDM classique (Ludlow et Ivanovic 2008), la qualité des reconstitutions 3D des structures anatomiques de la face (El et Palomo 2010) et la précision des mesures des VAS avec le CBCT (Guijarro-Martinez et Swennen 2011, Alves *et al.* 2012, Chang *et al.* 2012), justifiant son utilisation (Cf chapitre I, 3.2.1.2.). Le CBCT est une modification de la TDM utilisée dans le domaine odonto-stomatologique depuis le début des années 2000 (Arai *et al.* 1999, Tetradis et White 2010). C'est un examen à irradiation plus faible mais offrant toutefois une résolution d'image comparable à celle du scanner TDM et une grande possibilité de traitement des données. Ces avantages combinés au coût plus raisonnable de l'équipement ont permis l'extension de cette nouvelle technique d'imagerie dans toutes les disciplines de la médecine dentaire. Le développement des logiciels de traitement des images CBCT a fait exploser les études sur leur application en odontostomatologie.

Les indications de CBCT se sont élargies à l'orthopédie dento-faciale suite à des publications sur leur efficacité diagnostique et au développement de méthodes de céphalométrie 3D (Adams *et al.* 2004, Swennen et Schutyser 2006, Holberg *et al.* 2005, Walker *et al.* 2005, Treil *et al.* 2002, 2011, Ogawa *et al.* 2010, Abdelkarim 2012). Les CBCT dans ces bilans orthodontiques constituent donc une source prometteuse d'exams complets de la face et du cou pour notre étude.

Avant de choisir le CBCT comme matériel d'étude, nous avons testé la possibilité d'obtenir, à partir de ces exams, grâce à différents logiciels des segmentations de qualité susceptibles d'être utilisées pour notre étude. Les résultats satisfaisants de ces tests ont permis de valider le choix de ce matériel et nous avons donc procédé à la collecte des données.

1.1.2. Caractéristiques des CBCT

1.1.2.1. Principe fonctionnement et caractéristiques techniques

Les appareils à tomodynamométrie (TDM) en imagerie médicale utilisent un faisceau de rayons X étroit en forme d'éventail ainsi qu'une série de capteurs pour faire l'acquisition coupe par coupe des images de l'examen (Boyer *et al.* 2003) (figure II.1A). Le CBCT quant à lui, travaille non plus avec un faisceau de rayons X mince, mais avec un faisceau ouvert, conique, qui permet en une seule révolution de balayer l'ensemble du volume à radiographier (Kau *et al.* 2005, Pin *et al.* 2013) (Figure II.1B). Dans la technique du CBCT, la source de rayons X et le capteur se déplacent de manière synchronisée autour du patient qui est habituellement assis. Les images ainsi obtenues doivent ensuite être traitées à l'aide d'un logiciel utilisant un algorithme sophistiqué pour générer un volume tridimensionnel.

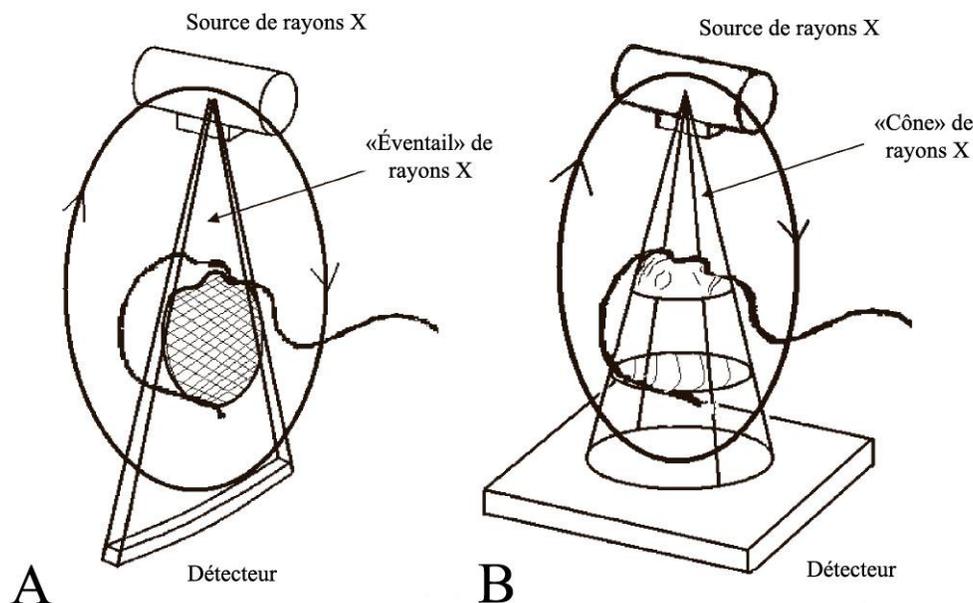


Figure II. 1 : Représentation schématique de la technique d'acquisition de l'image avec un appareil à TDM (A) et avec un CBCT (B). (Adaptée de Kau et al. 2005).

- Champ d'exploration ou champ de vue

Les appareils à CBCT permettent de modifier la taille du volume d'acquisition selon la région d'intérêt (champs 4×4, 6×6, 8×8, etc.). Les CBCT pour bilan orthodontique utilisés dans ce travail exigent les champs les plus grands (jusqu'à 16×16).

- Dose de radiation

La dose délivrée par les appareils CBCT est inférieure à celle du scanner mais demeure significativement plus élevée que celle de la radiographie dentaire conventionnelle, panoramique et intra-orale (HAS 2009). Selon les statistiques, un examen par CBCT du complexe maxillo-facial entraîne une dose effective variant entre 40 à 60 μSv selon l'appareil et le protocole utilisés, mais peut atteindre une dose de 400 μSv pour certains appareils (Ludlow 2006). Pour un examen similaire effectué en TDM traditionnelle, la dose effective est de l'ordre de 400 à 600 μSv (Mah et Hatcher 2004, Silva *et al* 2008) pour un protocole à faible dose, et de 1000 à 2500 μSv dans la majorité des cas (Cohnen *et al.* 2002, Hashimoto 2003, Schulze 2004, Cha *et al.* 2007, Roberts *et al.* 2009).

- Contrastes et artéfacts

Un avantage des CBCT par rapport aux TDM est de minimiser les artéfacts en présence d'éléments métalliques dans le champ du faisceau (Holberg *et al* 2005, Scarfe *et al* 2006, Boeddinghaus et Whyte 2008, White 2008).

Le temps réduit d'acquisition de l'examen (20 à 40 secondes) est plus confortable pour le patient et limite les artefacts dus à ses mouvements durant l'examen (Kau *et al.* 2005, McNamara 2006, Scarfe *et al.* 2006).

Le CBCT permet une bonne évaluation des tissus durs (os, dents), mais une visualisation des tissus mous assez pauvre puisque le rapport de contraste pour les éléments de faible densité n'est pas très élevé. Notre étude s'intéressant aux tissus durs, à l'os hyoïde et l'ensemble des structures osseuses faciales ainsi qu'aux VAS qui sont bien différenciées par leur densité de zéro, ce défaut du CBCT ne pose pas de problème particulier.

1.1.2.2. Résolution d'image et interaction avec les données

En imagerie tridimensionnelle, les données fournies par l'examen sont composées d'unités de volume dénommées « voxel » (volume élémentaire).

En tomodensitométrie médicale, les voxels sont anisotropes, ce sont des prismes rectangulaires dont les dimensions sont inégales dans les trois plans d'espace. Ainsi, la résolution des images obtenues par reconstruction tridimensionnelle n'est bonne qu'en incidence axiale.

Le volume élémentaire d'un examen CBCT est caractérisé par son aspect « isotrope ». Les voxels sont cubiques et présentent les mêmes dimensions dans les trois plans de l'espace, ce qui procure une excellente résolution et une grande précision des mesures dans toutes les incidences. A titre de comparaison il faut mentionner que :

- la taille des voxels des examens TDM est généralement de 0,625 mm dans le plan d'acquisition de l'image et de 1-2 mm dans les autres plans ; ces voxels peuvent être calibrés plus petits (0,25mm voire moins) et isotropes, mais plus la résolution est fine, plus la radiation augmente considérablement ;
- la taille des voxels d'un examen CBCT mesure de 0,125 à 0,4 mm en fonction des appareils et des protocoles utilisés.

Ces informations de taille des voxels sont liées aux fichiers DICOM et consultables avec la plupart des logiciels de visualisation d'imagerie médicale.

Le CBCT offre une variété de reconstructions planes ou courbes, en orientation coronale, sagittale, oblique, panoramique ainsi que des reconstructions tridimensionnelles (Fig II.2). De plus, toute image de coupe peut être « épaissie » en augmentant le nombre de voxels adjacents inclus dans la coupe. Ce mode peut simuler une radiographie céphalométrique latérale en fixant l'épaisseur d'une coupe sagittale à 130-150 mm ou simuler une radiographie panoramique. Dans notre travail, à côté de la reconstruction tridimensionnelle, nous utilisons également ce type de reconstruction pour générer des radiographies céphalométriques de face et de profil pour les mesures de typologie faciale et de position de l'os hyoïde.

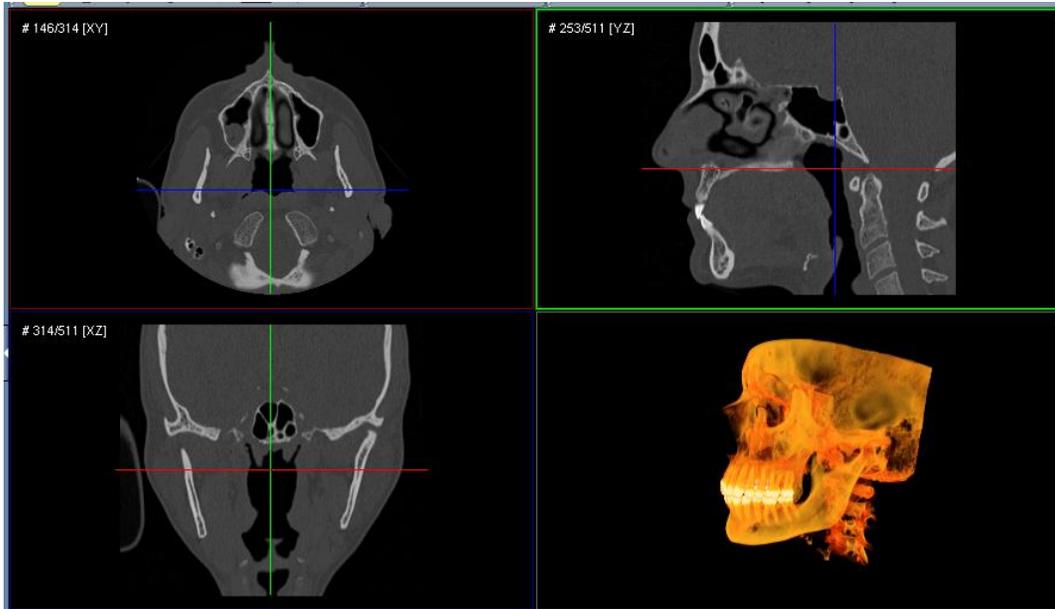


Figure II. 2 : Reconstitutions multiplanaires avec projection d'intensité maximale

1.1.2.3. Précision des mesures tridimensionnelles en CBCT

La précision et la reproductibilité des mesures prises à partir de volumes sont élevées. L'étude d'Adams *et al.* (2004) montre que les mesures en 3D sont 4 à 5 fois plus proches des mesures réelles que celles obtenues par la technique bidimensionnelle de téléradiographie céphalométrique. L'amélioration du positionnement des points de repère grâce à la possibilité de réorienter les objets pour obtenir une vue idéale explique pourquoi les mesures 3D sont plus précises (Lou *et al.* 2007, Ballrick *et al.* 2008, Periago *et al.* 2008, Stratemann *et al.* 2008, Brown *et al.* 2009, Oz *et al.* 2011, Lascala *et al.* 2015).

La précision des mesures 3D sur les reconstructions 3D sur CBCT a été évaluée et jugée élevée. L'étude de Lagravère *et al.* 2008 confirme l'absence de différence significative entre les mesures 3D sur CBCT et celles de référence dites "gold standard" effectuées avec un digitaliseur 3D. Selon une étude de Loubele *et al.* (2008), la précision des mesures linéaires sur tissus durs obtenues par CBCT est de 0,09 mm, comparativement à une précision de 0,30 mm pour les mêmes mesures obtenues par tomographie traditionnelle. Pourtant, il faut noter qu'avec les scans CBCT, le type de tissu évalué influence la précision des mesures (Ballrick *et al.* 2004, Lou *et al.* 2007, Loubele *et al.* 2008, Suomalainen *et al.* 2008).

1.1.3. Origines des collections de CBCT

L'échantillon vietnamien a été constitué, après acceptation du service d'imagerie médicale de l'Hôpital d'odontostomatologie de Hanoï, de CBCT réalisés entre juin 2011 et décembre 2013 dupliqués et gravés sur CDrom.

Pour l'échantillon français, nous avons pris contact avec le service de radiologie de la faculté d'Odontologie de l'Université Paul Sabatier de Toulouse qui est équipée d'un CBCT à large champ, dans le cadre d'un projet de développement de la céphalométrie 3D (Treil *et al.* 1997, 1999, 2000, 2002, 2011, Faure *et al.* 2002). Dans le service, les fichiers CBCT des patients consultant en orthopédie dento-faciale sont sauvegardés et archivés par année de l'examen, avec le nom, le sexe et l'âge du patient. Nous avons procédé à la collecte de ces CBCT en deux fois (décembre 2013 puis avril 2014). Nous avons copié les CBCT face totale de 127 sujets (réalisés de 2011 à janvier 2014) dans un disque externe. Notre matériel de recherche vient exclusivement de ces deux collections sources.

Les CBCT de la collection de Toulouse ont des voxels isotropes de 0,3 mm, (protocole : 90 kV, temps de balayage 28 secondes, champ de vue 17x13,5). Ce sont des CBCT de très bonne résolution avec un champ suffisamment large qui couvre la totalité de la tête et une partie du cou.

Les CBCT de la collection vietnamienne (protocole : 90 kV, temps de balayage 40 secondes, champ de vue 14x15 cm) ont un champ plus petit ne permettant pas parfois la visualisation de toutes les structures anatomiques que nous voudrions analyser. Leur défaut principal réside dans la taille des voxels qui ne sont pas parfaitement isotropes (0,3 mm pour la largeur et la longueur des voxels mais 0,29999 mm pour l'épaisseur des coupes). Ce défaut ne permet pas de reconstituer des clichés téléradiographiques avec le logiciel utilisé (3S Imaging). Les CBCT vietnamiens ne permettront pas les mesures de la typologie faciale mais restent satisfaisants pour l'étude tridimensionnelle de l'os hyoïde et des VAS.

1.2. Échantillons d'étude : constitution et description

1.2.1. Critères d'inclusion et d'exclusion

1.2.1.1. Critères d'inclusion

Nous avons intégré tous les CBCT complets de la face et du cou (étendus du crâne à la 4^{ème} vertèbre cervicale). Un nombre suffisant de CBCT de la collection de la faculté de Toulouse respecte ce critère (n = 127). Par contre, dans la collection vietnamienne, par limitation des conditions locales (les indications des CBCT champ large restent minoritaires), le nombre de CBCT complets s'est révélé insuffisant. Pour maximiser l'échantillon vietnamien, nous avons retenu également les CBCT qui contiennent l'os hyoïde et la partie des VAS que nous voulons étudier. Nous avons ainsi collecté les fichiers de 34 enfants et 33 adultes dans l'échantillon vietnamien dont 41 cas complets (22 enfants et 19 adultes) et 26 cas partiels (12 enfants et 14 adultes).

D'après Taranger et Hägg (1980), Cousminer *et al.* (2013), après 16 ans serait l'âge considéré comme post-pubertaire. Pour éviter des confusions entre enfant et adulte, nous avons sélectionné les sujets de moins de 17 ans pour l'échantillon d'enfants et de plus de 20 ans pour l'échantillon adulte.

1.2.1.2. Critères d'exclusion

Nous n'avons pas retenu dans notre échantillon :

- les sujets présentant des malformations congénitales (comme des fentes labio-palatines) et des syndromes cranio-faciaux,
- les sujets présentant des pathologies tumorales ou traumatiques,
- enfin les sujets aux antécédents de chirurgie orthognathique.

En plus de ces critères d'exclusion absolue pour l'échantillon total, deux critères d'exclusion complémentaires ont été appliqués pour l'étude de la typologie faciale et des VAS :

- les sujets porteurs d'appareils multi-attaches, car leur morphologie faciale initiale a pu être déjà changée par le traitement orthodontique ;
- les sujets ayant un édentement étendu susceptible de modifier le type facial par perte de dimension verticale.

Ces sujets sont donc inclus pour l'étude de la taille et la forme de l'os hyoïde, ce qui nous permet de maximiser l'échantillon, mais exclus de l'étude de l'influence de la typologie faciale et de ses corrélations avec la taille des VAS (tableau II.1).

Les CBCT de la collection de Toulouse sous format initial *.jpeg *lossless*, ont été décompressés en fichier au format DICOM (Figure II.3). L'anonymisation et le codage des sujets d'études sont réalisés à cette étape. Pour les CBCT de la collection de Hanoi déjà au format DICOM, nous procédons simplement à l'anonymisation et au codage des sujets.

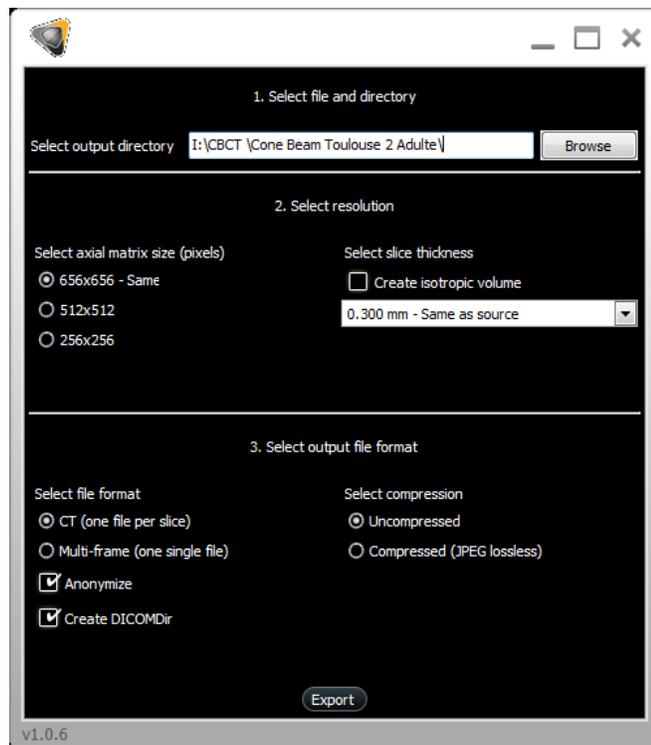


Figure II. 3 : Capture d'écran de l'exportation des fichiers DICOM à partir des fichiers JPEG *lossless* initiaux.

1.2.2. Description des échantillons étudiés

Parmi les 127 scans de l'échantillon français, après visualisation des fichiers et appréciation des critères d'inclusion, 110 cas (60 enfants, 50 adultes) présentant un os hyoïde intégralement visible sont retenus pour l'étude de taille et de forme de l'os hyoïde (Tableau II.1). C'est l'échantillon total initial. Par contre, avec les critères d'exclusion complémentaires décrits ci-dessus, seuls 92 CBCT (48 enfants et 44 adultes) seront utilisés pour l'étude des VAS et des typologies faciales, composant donc l'échantillon dit réduit (Figure II.4) (Tableau II.2).

67 des 69 CBCT vietnamiens (34 enfants et 33 adultes) répondant aux critères d'inclusion sont incorporés dans l'étude de taille et de forme de l'os hyoïde et des VAS (tableaux II.1 et II.2).

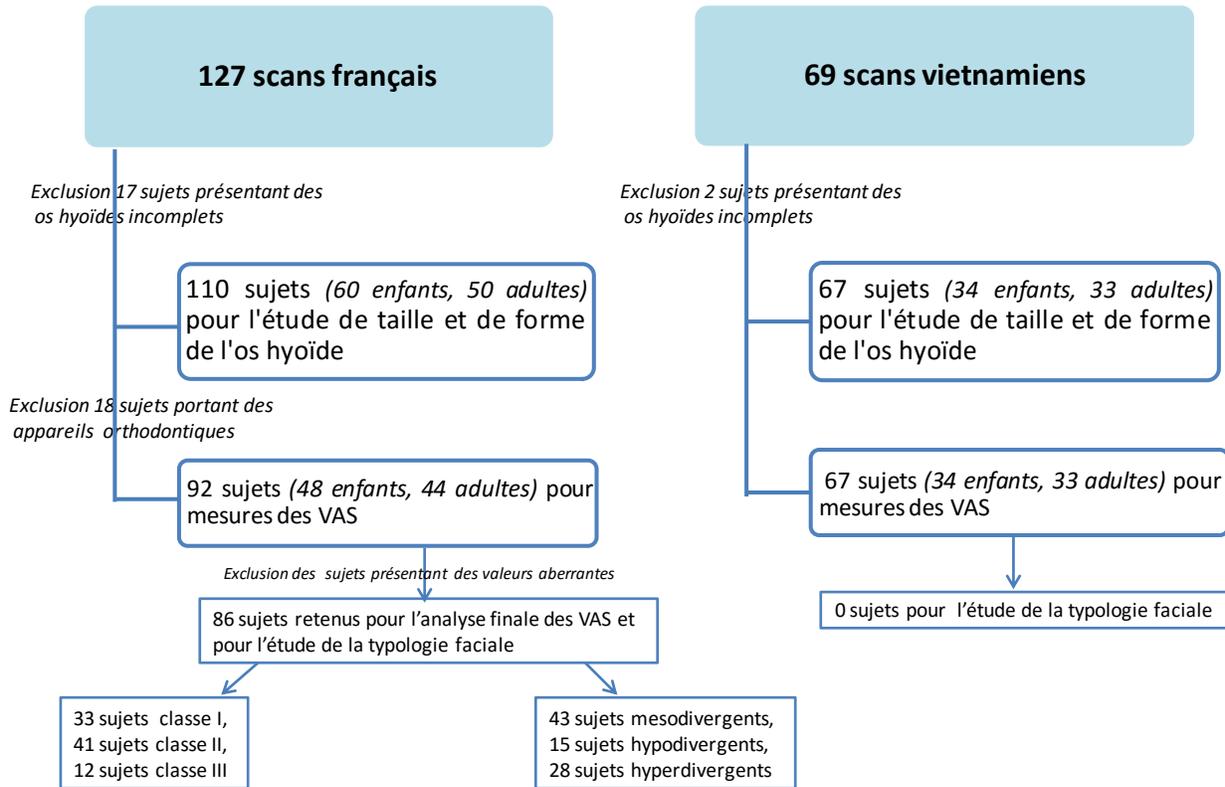


Figure II. 4 : Diagramme du nombre de sujets dans les différents échantillons de l'étude

1.2.2.1. Composition des échantillons par sexe et population

Les compositions des échantillons total et réduit sont rapportées dans les tableaux II.1 et II.2

	Enfants [7-16 ans]			Adultes [20-70 ans]		
	Féminins	Masculins	Total	Féminins	Masculins	Total
Français n = 110	33	27	60	34	16	50
Vietnamiens n = 67	19	15	34	25	8	33
Total	52	42	94	59	24	83

Tableau II. 1 : Composition de l'échantillon total par sexe, par groupe d'âge et par population.

	Enfants [7-16 ans]			Adultes [20-70 ans]		
	Féminins	Masculins	Total	Féminins	Masculins	Total
Français n = 92	27	21	48	29	15	44
Vietnamiens n= 67	19	15	34	25	8	33
Total	47	37		56	23	

Tableau II. 2 : Composition de l'échantillon réduit par sexe, par groupe d'âge et par population

1.2.2.2. Composition des échantillons en fonction de l'âge et du sexe

Les figures II.5 et II.6 présentent la répartition des sujets étudiés en fonction de l'âge.

Notre échantillon est constitué de 83 individus adultes de [20 à 70 ans] et de 94 individus immatures de [7 à 16 ans], il s'agit du plus grand échantillon d'os hyoïdes d'enfants étudié. La présence d'un nombre suffisamment important d'enfants permet d'évaluer les modifications dimensionnelles de l'os hyoïde au cours de la croissance, un aspect pas encore décrit dans la littérature.

Dans le groupe d'enfants (Figure II.5), la répartition par âge n'est pas équilibrée entre les deux échantillons de population. Il y a plus de sujets jeunes et moins de sujets 13-14 ans dans l'échantillon vietnamien que dans l'échantillon français.

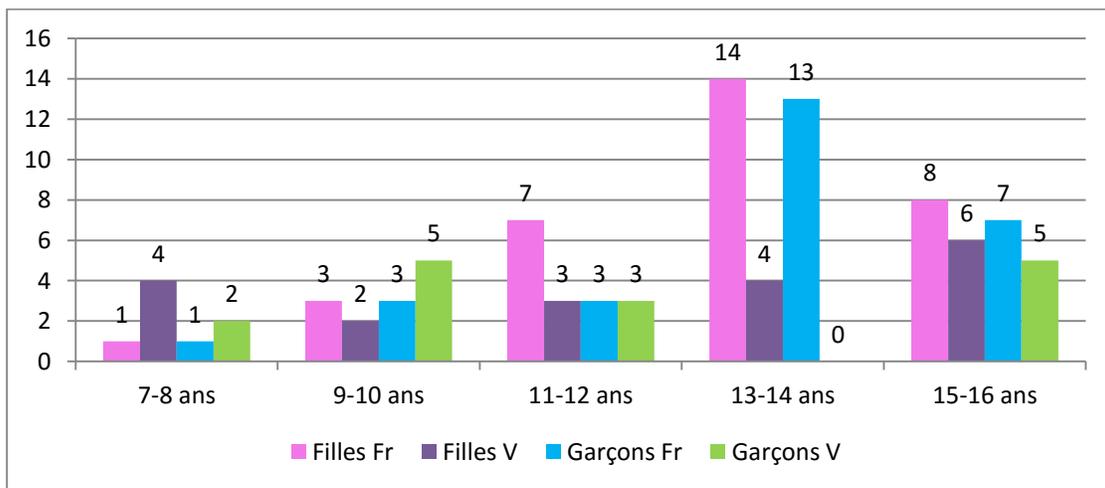


Figure II. 5 : Graphique de répartition par âge et par sexe des deux échantillons d'enfants ; Fr : Français; V : Vietnamiens

Dans le groupe d'adultes (Figure II.6), les hommes vietnamiens sont en nombre restreint et sont présents uniquement dans les âges de 20-29 ans.

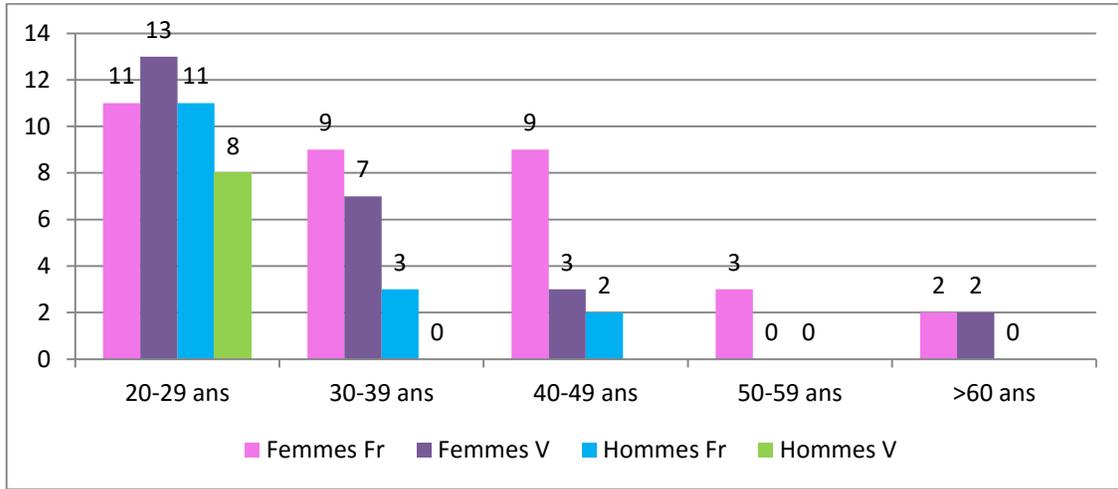


Figure II. 6 : Graphique de répartition par âge et sexe des deux échantillons d'adultes
Fr : Français; V : Vietnamiens

2. Protocoles d'études

2.1. Présentation générale

Notre étude comprend donc un protocole de mesures 3D et un protocole de mesures 2D. Tous deux ont été validés préalablement par des tests de fiabilité. Dans un premier temps, les os hyoïdes et les parties étudiées des VAS ont été segmentés et reconstruits en 3D. Les mesures sont ensuite effectuées sur ces images 3D reconstruites.

Dans un second temps, des clichés téléradiographiques ont été générés pour effectuer les mesures de position de l'os hyoïde et d'évaluation de la typologie faciale. Le résumé des protocoles est présenté dans le tableau II.3 et la description des protocoles est développée en détails ci-dessous.

Type d'étude	Nature du travail	Logiciel utilisé	Fiabilité de méthode
Étude 3D de forme et de dimensions de l'os hyoïde et des VAS	- Segmentation et reconstruction de l'os hyoïde - Segmentation et reconstruction des VAS - Mesures dans les trois plans de l'espace	TIVMI 2.3®	Tests intra-observateur
Étude 2D de typologie faciale et de position de l'os hyoïde	- Reconstruction des clichés téléradiographiques de face et de profil - Mesures des distances et des angles	3S Imaging®	Tests intra-observateur

Tableau II. 3 : Résumé des protocoles de mesures

2.2. Protocole pour l'étude tridimensionnelle

2.2.1. Logiciel de traitement des données CBCT

2.2.1.1. Choix du logiciel

L'étude de El et Palomo (2010) compare trois logiciels différents : Dolphin 3D, InVivoDental et OnDemand3D ; elle montre que les mesures obtenues à partir de ces 3 logiciels sont très corrélées entre elles. Plusieurs autres études évaluant la précision des mesures 3D en CBCT démontrent leur précision pour les VAS (Ghoneima 2011, De Souza *et al.* 2013 avec Dolphin 11.5) ou sur des tissus durs (Lagravère *et al.* 2008 avec Amira, Hassan *et al.* 2009 avec Amira 4.2. Gribel *et al.* 2011 avec Simplant Ortho 2.0) quel que soit le logiciel utilisé.

Au début de notre étude, nous disposions des logiciels Osirix, Amira 5.2 et TIVMI®. Après les avoir testés, TIVMI® est apparu le plus adapté pour notre étude.

En effet, si Osirix est un logiciel gratuit téléchargeable en ligne qui offre une interface et des fonctions de reconstruction d'image de qualité, il ne fonctionne qu'avec les ordinateurs Mac, ce qui ne correspond pas à l'équipement du laboratoire.

De son côté, Amira 5.2 est un logiciel payant mais disponible au laboratoire. Il présente une interface compacte, facile à utiliser et des fonctions de segmentation et de reconstruction 3D simplifiées. Cependant les mesures effectuées lorsque nous faisons des grossissements (Zoom) pour mieux positionner un point ne sont pas proportionnées. Cet inconvénient majeur entraîne un grand risque d'erreurs de mesure et nous a conduits à l'abandonner.

Le logiciel TIVMI® (*Treatment and Increased Vision for Medical Imaging*), répond parfaitement à nos critères et a été retenu.

2.2.1.2. Logiciel TIVMI®

TIVMI® est développé par Bruno Dutailly au laboratoire PACEA (UMR 5199, Université de Bordeaux). Il permet d'exploiter les fichiers DICOM issus des examens d'imagerie médicale dont les TDM et les CBCT.

La précision et la reproductibilité des protocoles de mesures avec TIVMI ont été confirmées par des travaux précédents (e.g. Guyomarc'h 2011, Colombo 2014). Un des avantages indiscutables de ce logiciel est son évolution constante suite aux suggestions des utilisateurs et la possibilité d'ajouter des fonctionnalités complémentaires. Ceci permet d'élaborer un protocole plus personnalisé et plus reproductible.

Après le téléchargement des fichiers DICOM, le logiciel présente l'interface de travail avec, à gauche, les onglets des fonctionnalités et, à droite, l'image des coupes axiales (Figure II.7). La modification de la densité dans l'onglet Image 3D permet d'optimiser la visibilité des différents tissus que l'on souhaite examiner. Le numéro de la coupe présentée est indiqué dans la barre "slice" de l'onglet "Image 3D".

La fonction de segmentation automatique par seuillage de densité est optimisée grâce à des outils accessoires permettant des corrections automatiques (*fill hole* pour remplir les trous ou *remove hole* pour enlever les voxels de trop...) ou manuelles.

Le positionnement des points de repère est facilité par les fonctions de Zoom, de changement d'angle de vue et de vérification sur l'objet 3D et sur les coupes DICOM. Les outils de mesures très bien développés offrent un grand nombre de fonctions pour créer des points, des plans, des lignes ou des segments et mesurer des distances, des angles, des surfaces, des périmètres, des volumes.

Un autre point fort du logiciel est la possibilité d'automatiser une série d'opérations par la création de "*scripts*". Cette automatisation qui permet un gain de temps considérable et favorise la bonne reproductibilité des opérations en évitant des erreurs de manipulation.

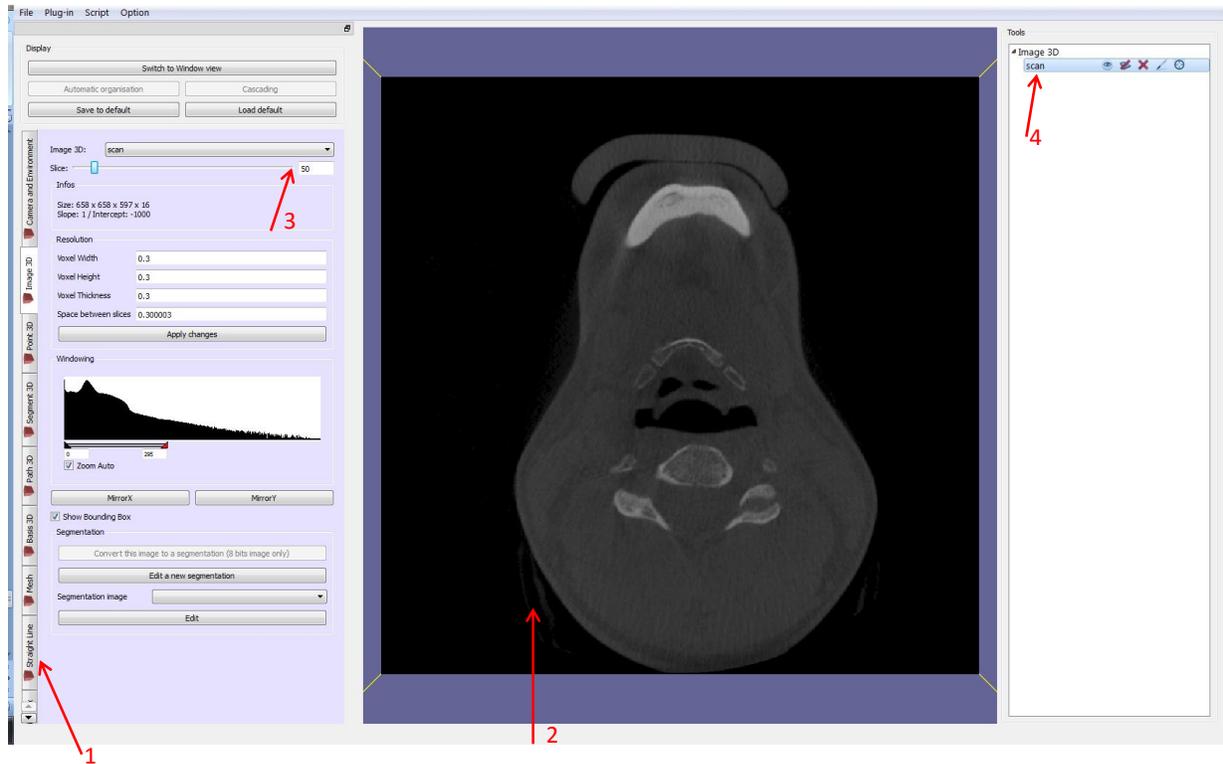


Figure II. 7 : Capture d'écran de l'interface de travail

1 : Onglets des fonctionnalités. 2 : Coupe de scan étudiée 3 : Numéro de la coupe présentée; 4: Nom de l'objet créé

2.2.2. Protocole de segmentation des structures concernées

2.2.2.1. Principe de la segmentation et de la reconstruction 3D avec TIVMI®

TIVMI® est basé sur l'algorithme du **HMH (Half-Maximum Height) 3D** pour la reconstruction surfacique (Spoor *et al.* 1993, Dutailly *et al.* 2009a). Cette technique a été validée comme très reproductible (Guyomarc'h *et al.* 2012). Elle repose sur le principe que la limite entre

deux tissus (par exemple air/tissus mous ou tissus mous/tissus durs) est graduelle et se trouve à la moyenne de densité de ces deux tissus (Spoor *et al.* 1993). Ce seuil définit le HMH, interface réelle entre deux éléments. Selon Coleman et Colbert (2007) ce seuil est plus objectif et donc préférable à un seuillage visuel. Lorsque l'utilisateur indique un seuil proche de l'interface entre les deux tissus étudiés, l'algorithme recherche automatiquement les limites optimales entre les matériaux selon le protocole HMH 3D pour chaque voxel dans l'ensemble du volume. Des variations dans le seuil choisi n'entraînent pas de différence de mesure attestant la reproductibilité de cette technique (Guyomarc'h 2011).

Pour notre travail, nous devons segmenter et reconstruire l'os hyoïde et une partie des VAS. La segmentation et la reconstruction des VAS ne présentent aucune difficulté et sont très précises (Dastidar *et al.* 1999, Bhattacharyya *et al.* 2000) car les densités de l'air et des tissus mous environnants sont très différentes : la transition des niveaux de gris est brutale et donc précise (Figure II.8)

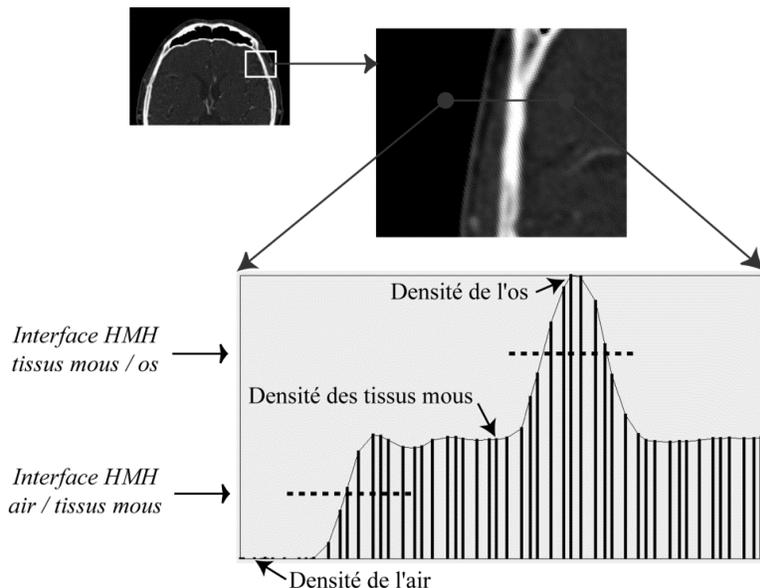


Figure II. 8 : Mesure de la densité par le biais d'un profil HMH : les niveaux de densité de l'os, des tissus mous et de l'air (adaptation de Guyomarc'h 2011)

La segmentation et la reconstruction de l'os hyoïde sont plus délicates (Figure II.8). La limite entre l'os et les tissus mous a posé quelques problèmes. L'os hyoïde présente une grande amplitude de densité : le corps est souvent très dense et les cornes bien moins. Le seuillage optimal est donc plus difficile à choisir. De plus, pour l'os hyoïde peu calcifié des jeunes enfants, ou pour les régions de l'os où la minéralisation est moindre (extrémités antérieures ou postérieures des grandes cornes), la différence de densité entre l'os peu minéralisé et les tissus mous environnants est faible. Dans ce cas, la distinction du HMH entre les deux tissus n'est pas suffisante pour une segmentation nette. Pour une reconstruction plus précise, des "boîtes de travail" ("*bounding box*") plus petites délimitant bien chaque partie de l'os hyoïde ont été utilisées afin de choisir le seuil le plus adapté

2.2.2.2. Protocole de segmentation de l'os hyoïde

La succession des commandes effectuées dans le logiciel TIVMI® pour segmenter l'os hyoïde est présentée dans les annexes II.1

Les étapes du protocole sont résumées dans le tableau II.4 ci-dessous :

Étape	Travail
Étape 1	Chargement de l'examen (Fig II.9)
Étape 2	Création de la « <i>bounding box</i> » de l'os hyoïde (Fig II.10) (Automatisée)
Étape 3	Reconstruction de la totalité de l'os hyoïde (Fig II.11) et visualisation de l'objet "hyoïde 3D " créé (Fig II.12)
Étape 4	Sous étapes pour des reconstructions partielles si nécessaire (Automatisée): - Reconstruction de l'extrémité postérieure de la grande corne droite par HMH - Reconstruction de l'extrémité postérieure de la grande corne gauche par HMH - Reconstruction de l'extrémité antérieure de la grande corne droite par HMH - Reconstruction de l'extrémité antérieure de la grande corne gauche par HMH - Reconstruction du corps de l'os hyoïde par HMH

Tableau II. 4 : Résumé des étapes de travail sous TIVMI® pour la reconstruction 3D de l'os hyoïde

- Étape 1: Chargement de l'examen :

Cette étape consiste à ouvrir dans le logiciel les fichiers DICOM du sujet à étudier. Après la commande "Load Dicom" dans le plugin, la boîte de dialogue demande le "path" (chemin) pour le fichier cible et un nom pour l'objet 3D à créer (Fig II.9). Afin d'automatiser les opérations suivantes, le nom commun donné à cet objet est "scan".

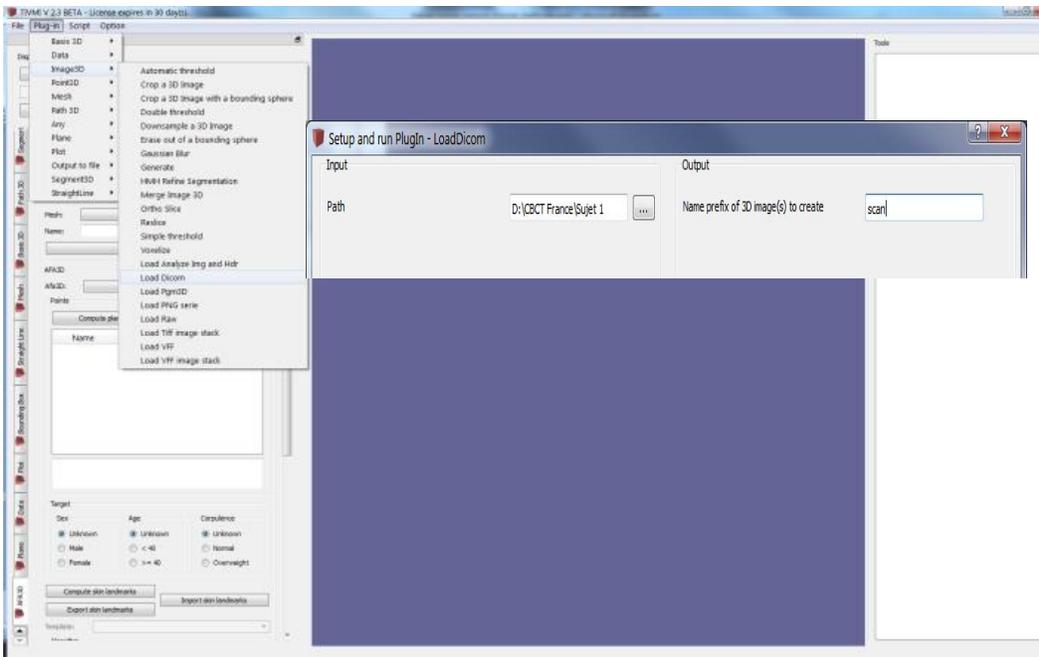


Figure II. 9 : Capture de l'écran de la commande de chargement de l'examen

- Étape 2 : Création de la " bounding box " de l'os hyoïde (Figure II.10)

Le fichier initial contient les données concernant tout le crâne. Pour le CBCT - tête complète d'un sujet, nous disposons d'environ 550 à 600 coupes axiales. L'os hyoïde n'est présent que dans une soixantaine de coupes. Les autres coupes n'ont donc pas d'intérêt pour sa reconstruction. Le but de la création de la *bounding box* est de limiter la partie du scan utilisée pour la reconstruction de l'os hyoïde, ceci apporte deux avantages :

- le logiciel travaille plus rapidement sur cet objet 3D beaucoup moins lourd ce qui assure un gain de temps.
- la reconstruction HMH différencie la densité entre deux matériaux seulement : l'os hyoïde et les tissus mous environnants et pas avec les autres structures présentes dans le scan entier.

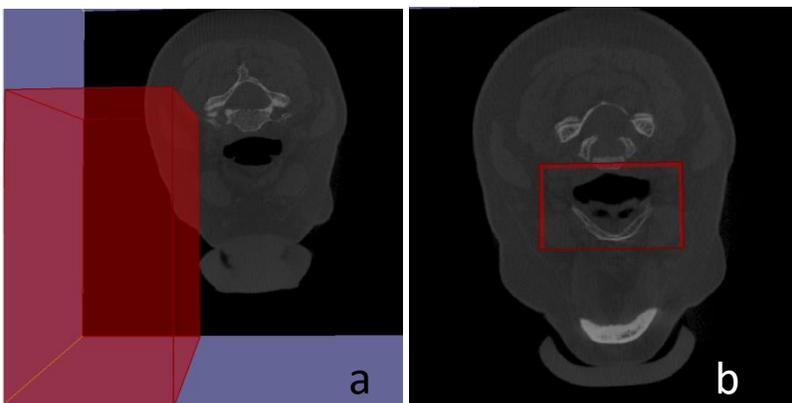


Figure II. 10 : Capture d'écran de l'étape de création de la bounding box

a : Choix du premier angle de la "box" sur la première coupe contenant l'os hyoïde

b : Choix du deuxième angle de la "box" sur la dernière coupe contenant l'os hyoïde

- Étape 3 : Reconstruction de la totalité de l'os hyoïde

Malgré la difficulté à choisir un seuillage optimal pour la totalité de l'os hyoïde, nous avons souhaité reconstruire dans un premier temps l'os hyoïde en entier. Le seuillage choisi est souvent un seuillage aux valeurs plus élevées pour segmenter les tissus les plus durs de l'os hyoïde et éviter des bruits. Comme la densité de l'os hyoïde varie d'un sujet à l'autre, notre protocole ne fixe pas une valeur de densité pour tous les sujets mais au contraire l'adapte à chacun. Ce choix de seuillage est fait après la modification de densité sur la coupe jusqu'à la différenciation nette de l'os hyoïde (fig II.11 a et b). La densité où l'os hyoïde est bien différencié de l'environnement sera le seuillage de reconstruction. Il est à noter également que comme nos scans viennent de deux sources différentes (Toulouse et Hanoï), les différences des propriétés techniques liées aux machines entraînent une densité de l'os hyoïde différente (densité entre 60 à 90 pour les CBCT français, entre 2020 à 2070 pour les CBCT vietnamiens), mais la manipulation pour choisir le seuillage reste la même.

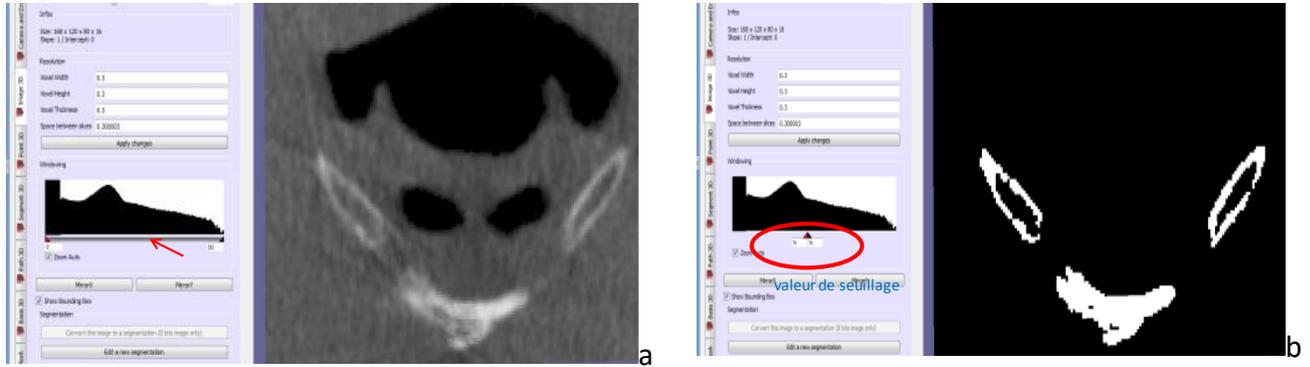


Figure II. 11 : Choix du seuil entre l'os hyoïde et les tissus.
 a : barre de densité initiale ; b : densité choisie après déplacement des niveaux de densité

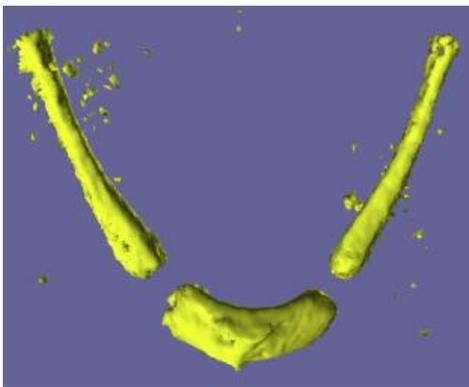


Figure II. 12 : Reconstruction dans un premier temps de l'os hyoïde entier

- Étape 4 : Sous-étapes pour reconstruire des parties de l'os hyoïde

La reconstruction précédente de la totalité de l'os hyoïde peut être satisfaisante dans des cas favorables (cas des os hyoïdes bien minéralisés des sujets âgés et scans sans artéfact), ou insuffisante.

Dans le cas de reconstruction insuffisante, des *bounding box* plus petites doivent être créées pour des zones limitées comme les extrémités postérieures ou antérieures des grandes cornes. La reconstruction de ces unités partielles est réalisée avec des seuils spécifiques pour chaque partie, inférieurs au seuil initial, permettant une reconstruction optimale.

Selon les cas, ces reconstructions partielles peuvent concerner uniquement les parties postérieures ou antérieures des grandes cornes, d'un côté ou des deux. Pour les cas les plus complexes, jusqu'à 6 reconstructions partielles peuvent être réalisées. Les commandes dans le logiciel sont les mêmes qu'à l'étape précédente. Les noms des *bounding box* et des reconstructions partielles sont systématisés pour l'automatisation du protocole (Tableau II.5).

Parties concernées	Nom de la <i>bounding box</i>	Nom de la reconstruction
Postérieure de grande corne droite	Post D box	Post D 3D
Postérieure de grande corne gauche	Post G box	Post G 3D
Antérieure de grande corne droite	Ant D box	Ant D 3D
Antérieure de grande corne gauche	Ant G box	Ant G 3D
Corps	Corps box	Corps 3D

Tableau II. 5 : Noms des "bounding box" partielles pour les parties concernées

L'image de la reconstruction initiale et d'une reconstruction partielle complémentaire sont présentées dans la figure II.13

Une fois la reconstruction complète achevée, les protocoles de saisie des points et de mesure peuvent être appliqués (*Cf infra 2.2.3.2*).

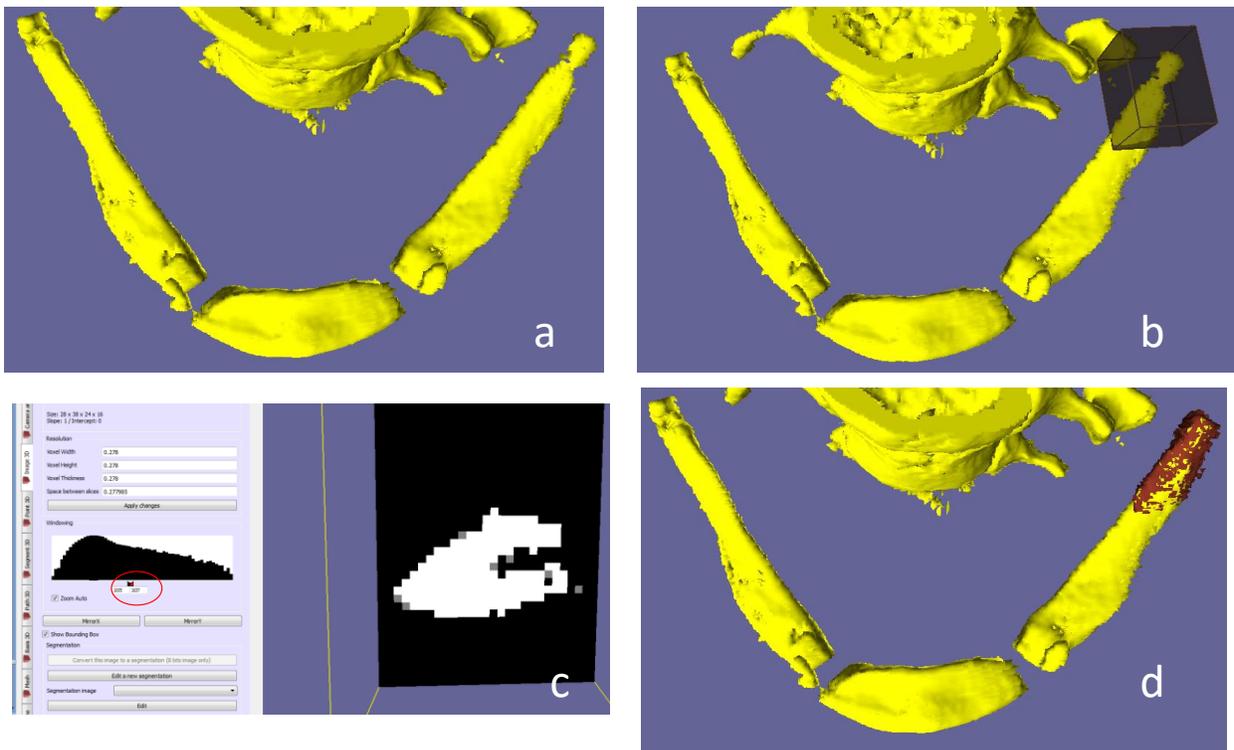


Figure II. 13 : Reconstruction partielle de l'extrémité postérieure de la grande corne gauche

a : Reconstruction insuffisante au niveau des parties postérieures des grandes cornes ; **b** : Bounding box partielle de la partie postérieure de la grande corne gauche ; **c** : Choix du seuillage ; **d** : Reconstruction complémentaire achevée (en marron, superposée sur la reconstruction totale initiale en jaune)

2.2.2.3. *Protocole de segmentation des VAS*

2.2.2.3.2. Choix de la position de la tête

Bien que certains auteurs redressent la tête selon un plan horizontal de référence (plan de Francfort ajusté pour être parallèle au sol), lorsque les radiographies sont prises en posture naturelle de la tête nous avons choisi de conserver l'orientation adoptée pendant la réalisation des CBCT lors de nos mesures car la modification d'orientation nécessite un recoupage des scans suivant le plan choisi entraînant une perte de résolution d'image. De plus, nous estimons que les mesures en position naturelle de la tête expriment les vraies dimensions des VAS.

2.2.2.3.2. Justification du choix des limites des VAS étudiées

La reconstruction des VAS reprend les mêmes principes que la reconstruction de l'os hyoïde.

Nous devons d'abord définir les limites de la zone des VAS que nous allons étudier. Notre choix de limites repose sur les divisions utilisées en anatomie et se réfère aux protocoles de nombreuses études sur les dimensions des VAS publiées entre les années 2009 et 2012.

a. Choix de la limite de l'étage du nasopharynx

Pour le nasopharynx, à l'exception de quelques études (El et Palomo 2010, Kim *et al.* 2010, De Souza *et al.* 2013, Zheng *et al.* 2014), qui mesurent la partie nasale (figure II.15a), la plupart des auteurs s'accordent à ne mesurer que la partie du nasopharynx située entre le plan horizontal passant l'épine nasale postérieure (ENP) et la pointe de l'uvula (Iwasaki *et al.* 2009, Yoshihara *et al.* 2012, De Souza *et al.* 2013, Alves *et al.* 2011, Chiang *et al.* 2012) (figure II.15b). Nous adoptons également le plan passant l'ENP comme limite supérieure des VAS à évaluer et le plan horizontal passant l'uvula comme limite intermédiaire entre le nasopharynx et l'oropharynx. Pour simplifier, nous appelons ici l'étage entre ces deux limites "nasopharynx".

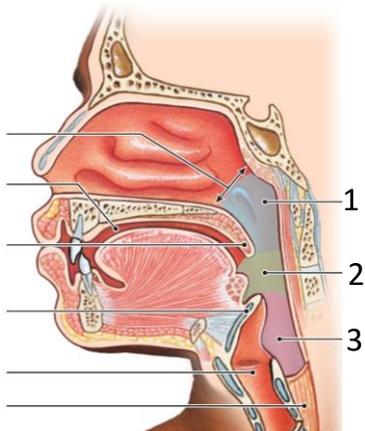


Figure II. 14 : Les trois étages du pharynx
1 : nasopharynx ; 2 : oropharynx ;
3 : hypopharynx

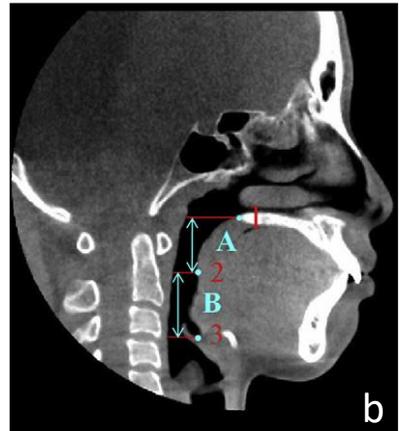


Figure II. 15 : Mesure de la partie supérieure du nasopharynx par Kim *et al* (2010), Zheng *et al* (2014), Iwasaki (2009)

b. Choix de la limite de l'étage de l'oropharynx

La limite inférieure des VAS et les termes utilisés varient dans les différentes études :

- Certains auteurs utilisent comme limite inférieure les vertèbres cervicales, mais avec des repères différents : le bord antéro-inférieur de C2 pour El et Palomo (2010), le bord inférieur de C3 pour Grauer *et al.* (2009), le bord inférieur de C4 pour Chiang *et al.* (2012).
- D'autres auteurs utilisent l'épiglotte, mais se différencient là encore par le choix du repère : son sommet (Kim *et al.* 2009, Alves *et al.* 2011 et 2012, De Souza *et al.* 2012) ou sa base (Iwasaki *et al.* 2009, Yoshihara *et al.* 2012).
- Zheng *et al.* (2014) préfèrent le bord supérieur de l'os hyoïde comme limite inférieure des VAS étudiées.

De plus, le terme "hypopharynx" retenu dans quelques études utilisant les repères vertébraux désigne non seulement l'hypopharynx anatomique mais également l'oropharynx mesuré. El et Palomo (2010) emploie le terme "oropharynx", Claudino (2013) appelle la portion inférieure du pharynx. Ces différences de repères et de termes rendent difficiles les comparaisons entre études.

Nous trouvons plus logique de prendre des limites qui appartiennent aux VAS elles-mêmes, c'est-à-dire l'épiglotte et non pas des repères osseux avoisinants car le vrai volume des VAS peut varier énormément en fonction de la relation verticale des VAS par rapport à ces structures.

Nous avons donc choisi le sommet de l'épiglotte comme limite inférieure des VAS car c'est une limite facile à repérer et reproductible.

La région des VAS que nous étudierons comprend alors deux parties qui correspondent aux termes anatomiques :

- la partie inférieure du naso-pharynx, limitée en haut par l'épine nasale postérieure, et en bas par la pointe de l'uvula, appelée ici nasopharynx,
- l'oropharynx, limité par la pointe de l'uvula en haut et le sommet de l'épiglotte en bas.

2.2.2.3.2. Détails du protocole de segmentation des VAS

La succession des commandes effectuées dans le logiciel TIVMI® pour segmenter les VAS est présentée dans l'annexe II.2.

La première étape du protocole consiste au repérage des limites des VAS à segmenter décrites ci-dessus. La coupe sagittale médiane montre tous les repères définis : l'ENP, la pointe de l'uvula et l'épiglotte. En faisant défiler les coupes axiales, nous repérons le numéro des coupes correspondant aux différents repères. À partir de ces coupes identifiées, nous pouvons créer la *bounding box* pour la reconstruction des parties des VAS.

Les étapes de travail sont les suivantes:

- Étape 1 : chargement des fichiers DICOM
- Étape 2 : création des plans sagittal et frontal du scan

- Étape 3 : repérage des limites des VAS et création de la *bounding box* pour la reconstruction des VAS.
- Étape 4 : segmentation des VAS.

Nous créons d'abord une *bounding box* pour la reconstruction de la totalité des VAS, la première coupe axiale de la "*bounding box*" est la coupe qui passe par l'épine nasale postérieure (appelée dans notre étude « coupe supérieure »). La dernière coupe axiale est la coupe qui passe par le sommet de l'épiglotte (Fig II.16) (appelée « coupe inférieure »). La *bounding box* nommée VAS est alors créée (Fig II.17).

Les VAS reconstruites (Figure II.19) sont ensuite divisées lors du calcul du volume en deux parties : le nasopharynx et l'oropharynx.

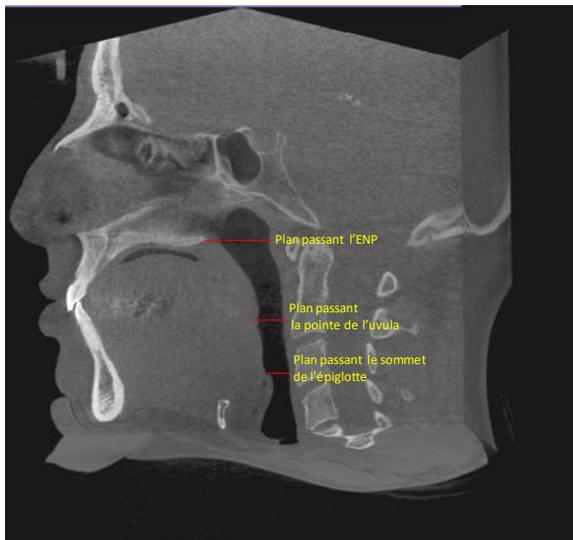


Figure II. 16 : Repères des étages des VAS sur la coupe sagittale médiane

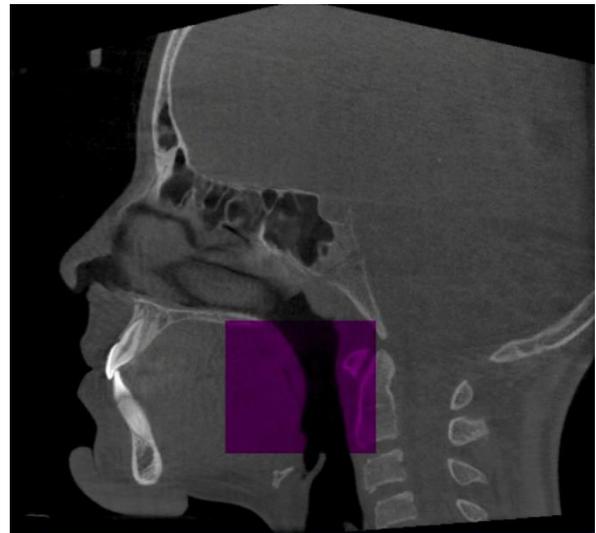


Figure II. 17 : "Bounding box" totale des VAS

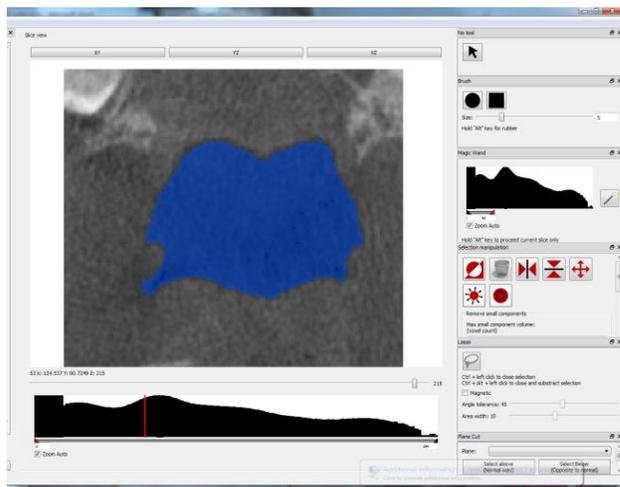


Figure II. 18 : Vérification des VAS segmentées coupe par coupe

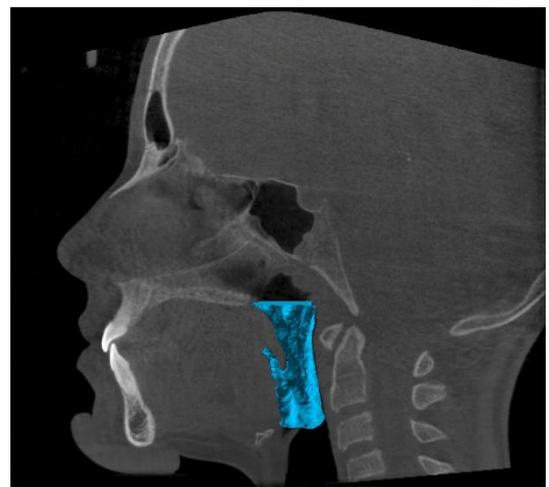


Figure II. 19 : VAS reconstruites

La segmentation des VAS est peu difficile, car la densité de l'air est très différente de la densité des tissus mous avoisinants, le seuil de densité est facilement défini. Cependant pour augmenter la précision de la reconstruction les parties segmentées sont vérifiées coupe par coupe (figure II.18) afin de corriger des défauts de segmentation manuellement ou automatiquement (fonction *remove hole*, pour enlever le bruit segmenté n'appartenant pas aux VAS ou *fill hole* pour remplir les petits espaces entrant dans le volume des VAS).

2.2.3. Définition des stades de fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde.

D'après quelques études (O'Halloran et Laundry 1987, Gupta *et al.* 2008) la fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde présente des variations entre sexes et entre populations. Nous avons donc décidé d'étudier la présence d'une fusion unilatérale ou bilatérale des grandes cornes au corps de l'os hyoïde. Elle est recherchée sur l'image 3D de l'os hyoïde et vérifiée sur les coupes tomographiques axiales.

Les stades de fusion sont classés selon le code présenté dans le tableau II.6 et illustrés dans la figure II.20.

Stades de fusion	Abréviation	Description de l'étape de fusion
Absence de fusion	A	Aucun signe de fusion n'est observé (Figure II.20a)
Fusion complète bilatérale	B	Les deux grandes cornes sont soudées complètement au corps (Figure II.20c).
Fusion complète Unilatérale	Cu	La fusion est complète d'un seul côté, droit ou gauche, le côté opposé peut être non fusionné ou fusion partielle (Figure II.20b)
Fusion complète du côté droit	Cud	La fusion est unilatérale à droite.
Fusion complète du côté gauche	Cug	La fusion est unilatérale à gauche
Fusion partielle unilatérale	Pu	La fusion est partielle d'un côté, le côté opposé ne présente pas de fusion
Fusion partielle bilatérale	Pb	La fusion partielle est observée des deux côtés

Tableau II. 6 : Stades de fusion de l'os hyoïde

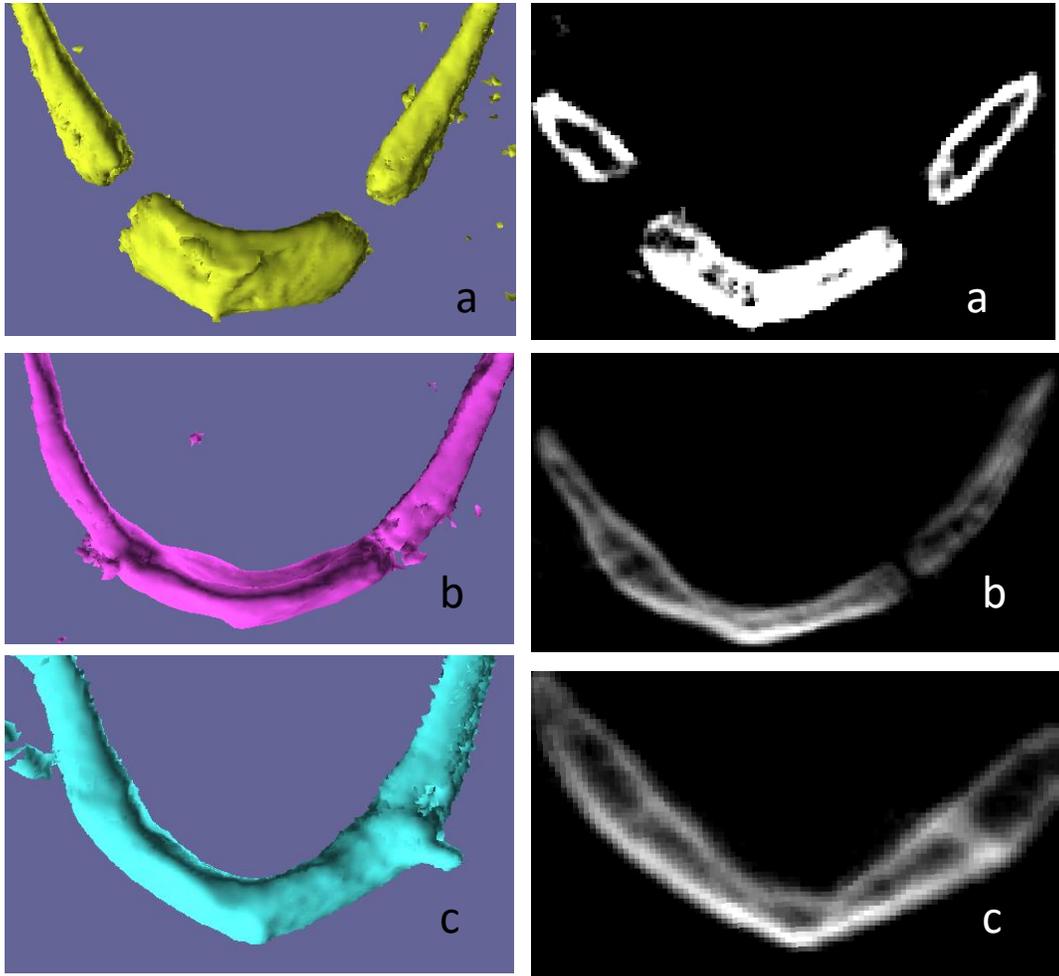


Figure II. 20 : Évaluation du stade de fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde sur les reconstructions 3D et les coupes axiales
a : Absence de fusion (A); b : fusion complète unilatérale (Cu); c : fusion complète bilatérale (Cb)

2.2.4. Mesures en 3D

Pour effectuer des mesures linéaires ou angulaires en 3D dans le logiciel TIVMI® des plans et des segments sont créés, à partir de points de repère sélectionnés. De même d'autres points complémentaires peuvent être construits (projections sur un plan, points équidistants, etc.). Nous devons donc dans un premier temps sélectionner des points de repère de positionnement les plus précis et les plus reproductibles.

2.2.4.1 Protocole de mesure des dimensions de l'os hyoïde

2.2.4.1.1 Choix et description des points

Les largeur et longueur totales de l'os hyoïde, les largeurs et longueurs des grandes cornes, du corps, les angles entre les grandes cornes ou l'angle du corps sont des variables

choisies dans notre étude pour apprécier la taille et la forme de l'os hyoïde. Les points de l'os hyoïde sont sélectionnés pour réaliser ces mesures.

Dans le souci de choisir des points reproductibles et identifiables, nous avons recherché dans la littérature et trouvé une seule étude (Fakhry *et al.* 2013) mesurant l'os hyoïde reconstruit en 3D. Ces auteurs utilisent 5 points : 2 sur la partie distale des deux grandes cornes, 2 sur la jonction entre grandes cornes et petites cornes et 1 point au milieu du corps de l'os hyoïde (figure II.21).

Les définitions de ces points sont selon nous peu précises :

- Pour les points postérieurs : la partie distale des grandes cornes est trop large pour situer précisément un point.
- Pour les points antérieurs : les jonctions entre petites cornes et grandes cornes sont difficiles à repérer, surtout chez des jeunes enfants, à cause de leur densité faible et leur fusion tardive
- Pour le point du corps : la définition au milieu du corps rend le positionnement de ce point difficilement reproductible.

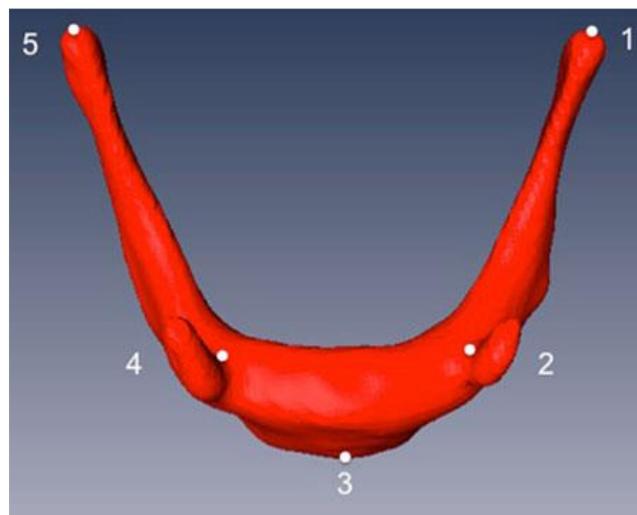


Figure II. 21 : Les 5 points de repères utilisés dans l'étude de Fakhry *et al.* (2013)

Nous avons établi les 5 points initiaux de notre étude en précisant leur positionnement (Tableau II.7).

a. Cinq points initiaux

Nom	Définition
HyL1	Point supéro-interne de la partie postérieure (distale) de la grande corne droite
HyL2	Point supéro-interne de la partie postérieure (distale) de la grande corne gauche
HyC1	Point supéro-interne de la partie antérieure de la grande corne droite
HyC2	Point supéro-interne de la partie antérieure de la grande corne gauche
HyB1	Point le plus antérieur du corps de l'os hyoïde

Tableau II. 7 : Définitions des 5 points initiaux de l'os hyoïde

Sur les grandes cornes, les 4 points sont positionnés à l'angle supéro-interne des parties postérieure et antérieure. Le point positionné sur le corps de l'os hyoïde est le point le plus antérieur (Figure II.22).

Les largeurs antérieure et postérieure mesurées à partir de ces points correspondent à l'espace réel pour les tissus mous et les VAS.

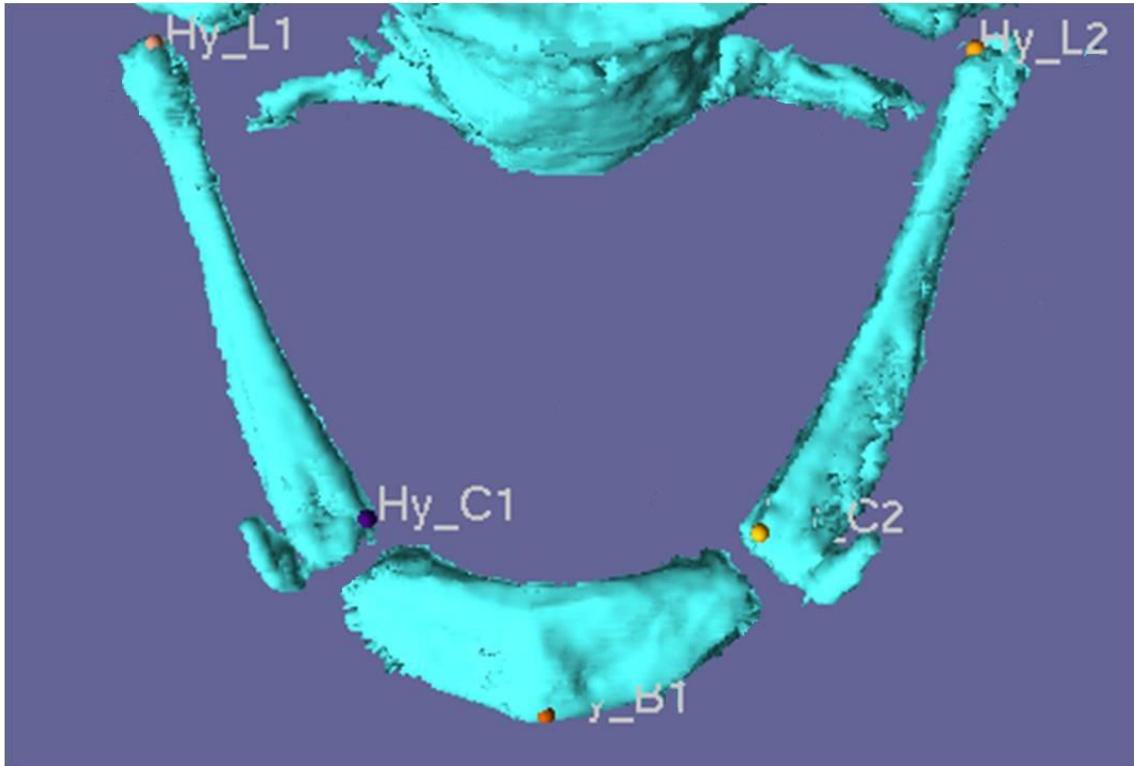


Figure II. 22 : Points initiaux de l'os hyoïde

Pour chaque point, nous vérifions systématiquement son positionnement sur des coupes axiales au même niveau afin de confirmer si le point est bien à l'angle supéro-interne (Figure II.23). Cette vérification a un grand intérêt pour les points antérieurs des grandes cornes lorsqu'elles sont déjà fusionnées au corps, car la limite entre la grande corne et le corps de l'os hyoïde n'est pas facilement repérable sur l'os hyoïde 3D.

À partir des 5 points de repères initiaux, nous pouvons créer des segments et des plans qui seront ensuite utilisés pour saisir des points complémentaires.

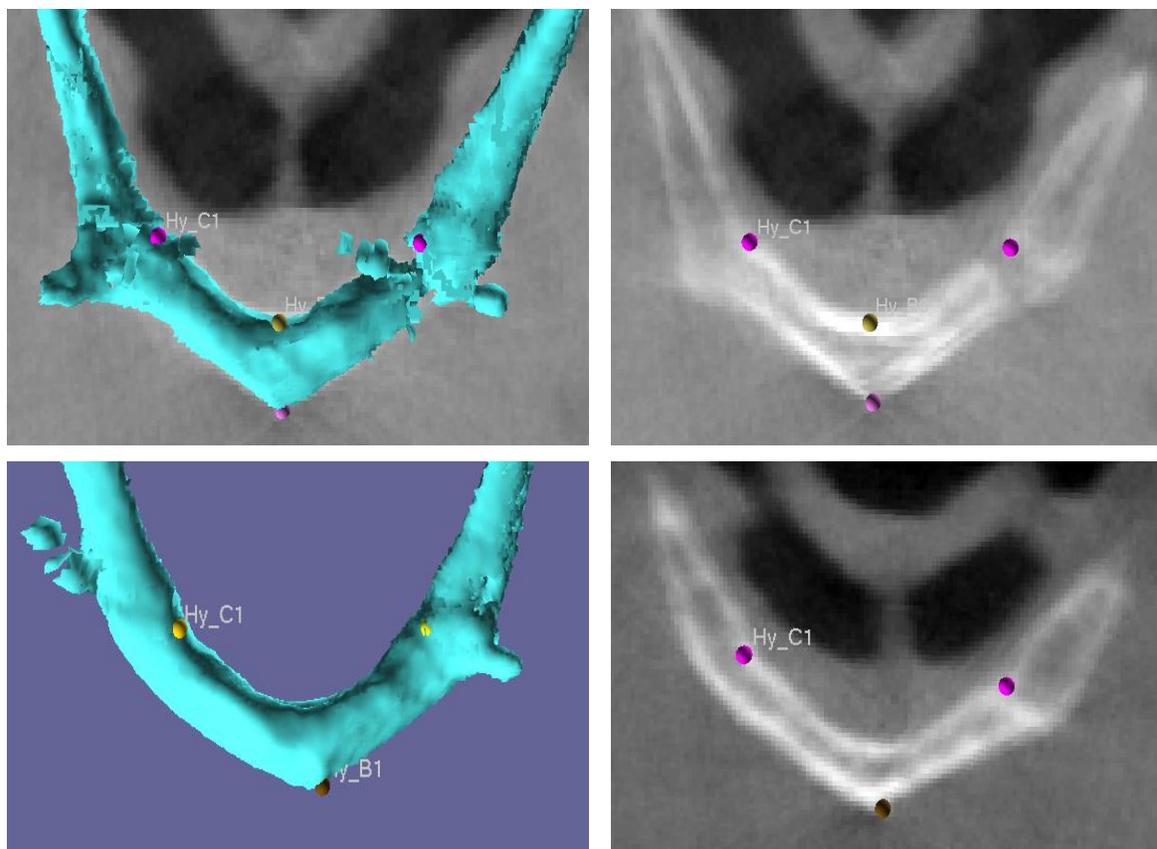


Figure II. 23 : Vérification des points choisis sur les coupes axiales
 a : pour les os hyoïdes fusionnés ; b : pour les os hyoïdes non fusionnés

b. Plans et points générés (Tableau II.8 et Figure II.24)

Nom	Définition
<i>Plan Hyoïde</i>	Plan établi par trois points : <i>HyL1, HyL2, HyB1</i>
<i>Plan sagi hyoïde</i>	Plan passant par le point <i>HyB1</i> et perpendiculaire au segment <i>HyL1-HyL2</i>
<i>HyC1 pro</i>	Projection du point <i>HyC1</i> sur le <i>plan Hyoïde</i>
<i>HyC2 pro</i>	Projection du point <i>HyC2</i> sur le <i>plan Hyoïde</i>
<i>Plan Corne1</i>	Plan établi par trois points : <i>HyC1, HyC1 pro, HyL1</i> , représente la corne droite
<i>Plan Corne2</i>	Plan établi par trois points : <i>HyC2, HyC2 pro, HyL2</i> , représente la corne gauche
<i>HyB3</i>	Point au milieu du bord supérieur du corps de l'os hyoïde, à l'intersection entre le <i>plan sagi hyoïde</i> et le bord supérieur
<i>HyB2</i>	Point au milieu du bord inférieur du corps de l'os hyoïde, à l'intersection entre le <i>plan sagi hyoïde</i> et le bord inférieur
<i>Hy B1 pro</i>	Projection du point <i>HyB1</i> sur le segment <i>HyC1proHyC2pro</i>
<i>Hy B3 pro</i>	Projection du point <i>HyB3</i> sur le segment <i>HyC1pro-HyC2pro</i>

Tableau II. 8 : Plans et points créés à partir des points initiaux

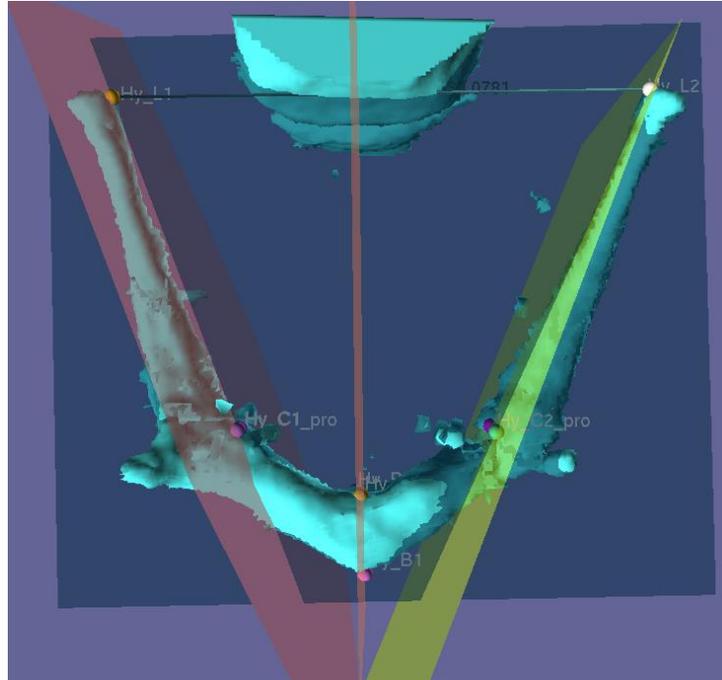


Figure II. 24 : Plans et points créés

2.2.4.1.2 Mesures réalisées

Les mesures réalisées sont résumées dans le tableau II.9 et illustrés dans la figure II.25. La succession des commandes effectuées dans le logiciel TIVMI® est présentée dans les annexes II.3

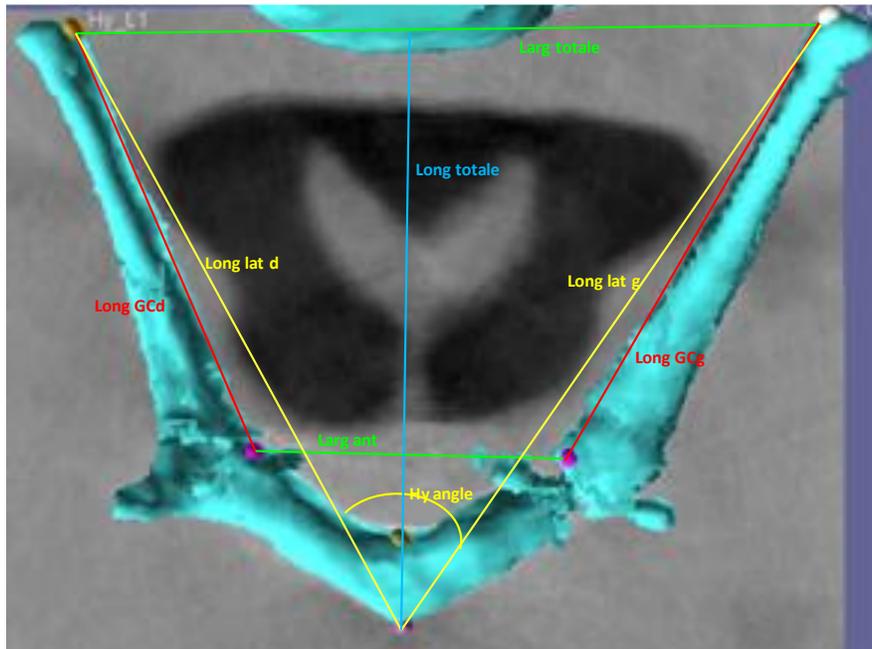


Figure II. 25 : Méthode de mesures des différentes dimensions de l'os hyoïde

Définition	Abréviation	Mesure
Largeur totale de l'os hyoïde, entre les extrémités postérieures des grandes cornes	Larg totale	Distance HyL1 - HyL2
Largeur antérieure de l'os hyoïde, entre les extrémités antérieures des grandes cornes	Larg ant	Distance HyC1 - HyC2
Largeur antérieure de l'os hyoïde, entre les extrémités antérieures des grandes cornes, en projection sur le plan hyoïde	Larg ant pr	Distance HyC1pro - HyC2pro
Longueur totale de l'os hyoïde, entre le point le plus antérieur du corps et les extrémités distales des grandes cornes	Long totale	Hauteur du triangle HyL1HyB1HyL2 (sommet HyB1, base HyL1HyL2)
Longueur antérieure	Long ant	Distance HyB1 - HyB1 pro
Longueur de la grande corne droite	Long GCd	Distance HyC1 - HyL1
Longueur de la grande corne gauche	Long GCg	Distance HyC2 - HyL2
Longueur droite de l'os hyoïde	Long lat d	Distance HyB1 - HyL1
Longueur gauche de l'os hyoïde	Long lat g	Distance HyB1 - HyL2
Angle Hyoïde	Hy Angle	Angle entre HyL1-HyB1-HyL2, HyB1 est le sommet de l'angle
Angle entre les grandes cornes	Angle GC	Angle plan corne 1 - plan corne2
Rapport entre la largeur totale et la longueur totale de l'os hyoïde	Rapport Larg/Long	Rapport Larg totale/Long totale
Rapport entre les largeurs antérieure et totale (postérieure) des grandes cornes	Rapport Larg Ant/ Larg totale	Rapport Larg ant/Larg totale

Tableau II. 9 : Mesures des dimensions de l'os hyoïde effectuées

2.2.4.2 Protocole d'étude des VAS

Les dimensions des VAS que nous mesurons sont (Tableau II.10) :

- le volume total et la hauteur totale
- le volume et la hauteur de chaque étage : nasopharynx, oropharynx
- les surfaces au niveau des coupes limites de chaque étage : coupe supérieure (passant l'épine nasal postérieure), coupe intermédiaire (passant la pointe de l'uvula), coupe inférieure (passant le sommet de l'épiglotte)
- la surface minimale
- les dimensions antéro-postérieure (longueur) et transversale (largeur) respectives de ces coupes

La succession des commandes de mesure des dimensions des VAS effectuées dans le logiciel TIVMI® est présentée dans l'annexe II.4

Abréviation	Définition
V total	Volume total des VAS mesuré entre les coupes axiales passant par l'épine nasale postérieure (ENP) et par le sommet de l'épiglotte
Vnaso	Volume du nasopharynx mesuré entre les coupes axiales passant par ENP et par la pointe de l'uvula
Voro	Volume de l'oropharynx mesuré entre les coupes axiales passant par la pointe de l'uvula et par le sommet de l'épiglotte
H total	Hauteur totale des VAS
H naso	Hauteur du nasopharynx
H oro	Hauteur de l'oropharynx
S Cs	Surface de la coupe axiale supérieure des VAS, passant par ENP
S Cm	Surface de la coupe axiale intermédiaire, passant par la pointe de l'Uvula
S Ci	Surface de la coupe axiale inférieure des VAS, passant par le sommet de l'épiglotte
S Cmin	Surface minimale parmi toutes les surfaces axiales mesurées
L Cs	Longueur (dimension antéro-postérieure) de la coupe supérieure, des VAS, passant par ENP
L Cm	Longueur de la coupe intermédiaire, passant par la pointe de l'Uvula
L Ci	Longueur de la coupe inférieure des VAS, passant par le sommet de l'épiglotte
L Cmin	Longueur de la coupe de surface minimale
Larg Cs	Largeur (dimension transversale) de la coupe supérieure des VAS, passant par ENP
Larg Cm	Largeur de la coupe intermédiaire, passant par la pointe de l'Uvula
Larg Ci	Largeur de la coupe inférieure des VAS, passant par le sommet de l'épiglotte
Larg Cmin	Largeur de la coupe de surface minimale

Tableau II. 10 : Mesures des VAS effectuées

2.2.4.2.1 Mesures de volume et de surface.

Le volume total des VAS reconstruites et les surfaces de section segmentées sont calculés automatiquement par le logiciel TIVMI. Ces surfaces sont exportées dans un fichier excel® qui associe la surface de section au numéro de la coupe correspondante. Nous pouvons ainsi déterminer les surfaces des coupes limitant les trois étages du pharynx. La valeur minimale de toutes les coupes segmentées est celle de la surface minimale des VAS dont nous relevons le numéro de coupe pour effectuer dans un second temps ses mesures de longueur et de largeur.

Ensuite, les VAS segmentées sont divisées en deux étages : nasopharynx et oropharynx au niveau des limites déjà définies lors de la création des *bounding box* de chaque étage (Fig II.26). Après cette recoupe, le volume de chaque étage est calculé par le logiciel.

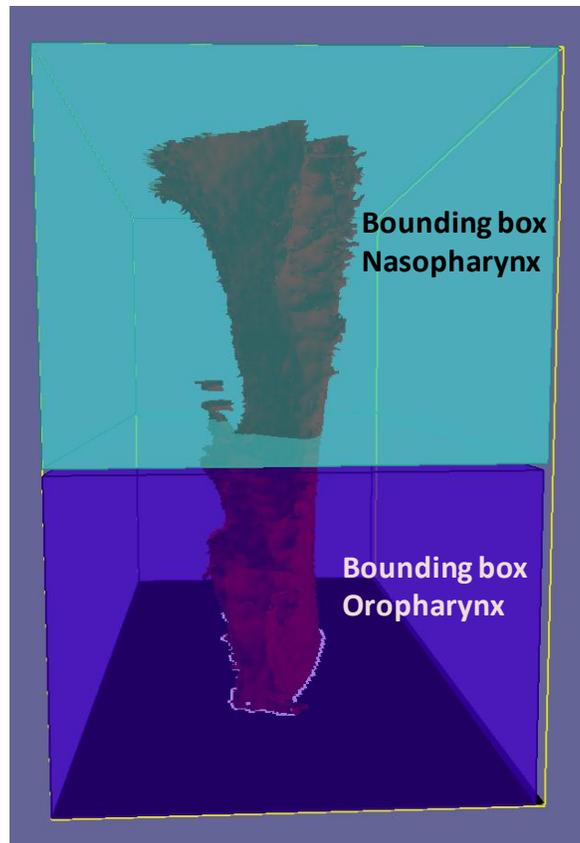


Figure II. 26 : Découpage des "bounding box" des étages du pharynx

2.2.4.2.2 Mesures de longueur et de largeur des coupes.

La forme des coupes axiales des VAS est très variée, la méthode adoptée pour mesurer leur longueur et leur largeur doit représenter le plus fidèlement ces formes.

a. Critique des mesures utilisées dans la littérature

Dans les études publiées, Yoshihara et *al.* (2008) mesurent la largeur et la longueur la plus grande de chaque coupe (Fig II. 27 a). Ces mesures ne reflètent pas de façon fidèle la forme et les dimensions réelles des coupes étudiées. Les extensions latérales incluses dans ces mesures créent des estimations majorées de la surface évaluée.

D'autres auteurs (Iwasaki et *al.* 2009) mesurent la largeur la plus grande et la largeur la plus petite (fig II.27 b). Mais la mesure de cette dernière est très subjective car cette distance est estimée visuellement.

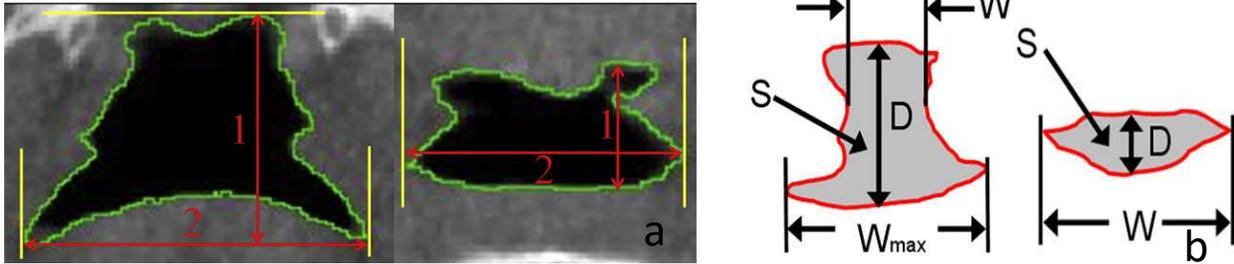


Figure II. 27 : Mesures des largeur et longueur des coupes selon différents auteurs
a : Mesures des largeur et longueur maximales par Yoshihara et al.(2012)
b : Mesures des largeurs maximale et minimale par Iwasaki et al. (2011)

b. Choix de notre méthode

Nous avons choisi de mesurer la largeur et la longueur passant par le milieu de chaque coupe, comme Kim et *al.* (2010), qui, pour nous, expriment le mieux les dimensions réelles.

Les premiers points repérés sont les milieux des bords antérieur et postérieur de la surface de section (figure II.28). Ces points sont nommés systématiquement 1 et 2 précédés par la lettre désignant la coupe, soit :

- S1 et S2 pour la coupe supérieure,
- M1, M2 pour la coupe intermédiaire,
- L1 et L2 pour la coupe inférieure,
- E1 et E2 pour la coupe de surface minimale.

Le milieu de ce segment est généré par le logiciel et est nommé S3, M3, L3, H3 pour chaque coupe.

Nous pouvons ensuite construire le plan transversal perpendiculaire au segment antéro-postérieur passant par ce troisième point. Les deux points d'intersection de ce plan avec le contour latéral de la coupe nommés 4 et 5 seront les deux points limitant la largeur mesurée de la coupe (figure II.28).

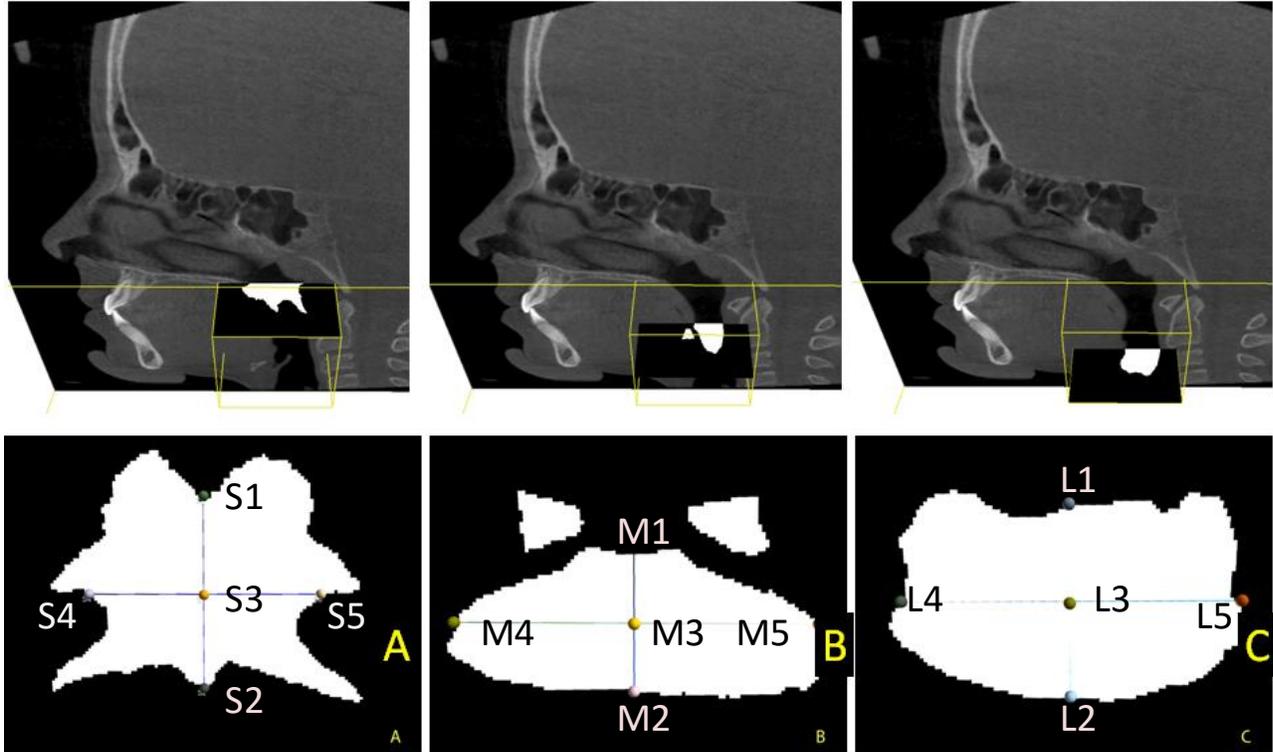


Figure II. 28 : Mesure des largeurs et des longueurs des coupes
(A : coupe supérieure, B : coupe intermédiaire, C : coupe inférieure)

2.2.4.2.3 Mesure des hauteurs des VAS

La hauteur totale et celle de chaque étage des VAS sont mesurées par le segment entre le point du milieu de la coupe supérieure et sa projection sur les autres coupes de référence. (Figure II.29). Les commandes du logiciel sont résumées dans l'annexe II.4.

Dans ce protocole de mesure, la saisie des points est manuelle et réalisée pour chaque cas ; par contre le calcul des données de volumes, surfaces, dimensions des segments est automatisé dans le script enregistré. Après la saisie des points, les scripts sont lancés et les mesures sont effectuées automatiquement.

Tous les résultats sont exportés dans des fichiers excel (*.csv).

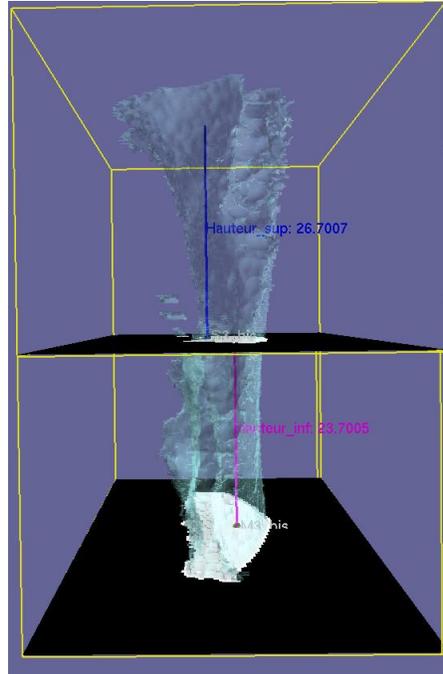


Figure II. 29 : Mesure des hauteurs des étages du pharynx

2.3. Etude en 2D de la position de l'os hyoïde et de la typologie faciale sur les téléradiographies

2.3.1. Justification d'une étude en 2D

L'analyse céphalométrique sur des téléradiographies reste l'examen de première intention pour évaluer la typologie faciale et les relations entre les structures faciales. Les normes céphalométriques établies depuis près d'un siècle servent toujours de référence dans les études actuelles.

Ces analyses bidimensionnelles répondent à nos attentes pour évaluer la position de l'os hyoïde et ses modifications positionnelles dans différentes configurations faciales.

De plus, en pratique, nous pouvons obtenir facilement les téléradiographies sans avoir recours à des examens radiologiques complémentaires car certains logiciels d'exploitation des CBCT peuvent générer ces radios en deux incidences, profil et face, à partir des scans. Les mesures sont réalisées directement sur ces radiographies numériques par le logiciel inclus.

Enfin, l'approche céphalométrique tridimensionnelle des relations squelettiques crânio-faciales impose une reconstruction de la totalité de la tête, qui prend un temps considérable avec le logiciel et rend le fichier très lourd. Le choix pour cette évaluation s'est donc porté sur un protocole 2D simple mais efficace et fiable.

2.3.2. Choix du logiciel de mesure 2D: 3S Imaging

Les fabricants des appareils CBCT offrent avec leur machine un logiciel pour la lecture des scans obtenus. Ces logiciels incluent souvent des fonctions de segmentation, de mesure ou d'analyse céphalométrique plus ou moins bien développées.

3S Imaging® est le logiciel fourni avec l'appareil de CBCT utilisé à la faculté d'odontologie de Toulouse. Il permet de décompresser le fichier CBCT initialement sauvegardé sous format *JPEG lossless en créant un nouveau fichier DICOM puis de générer des clichés téléradiographiques selon les trois incidences axiale, sagittale et frontale en superposant toutes les coupes sur une seule par la fonction d'augmentation de l'épaisseur : l'épaisseur 0.03 mm montre la coupe (figure II.30a) tandis que si on choisit l'épaisseur totale (197.1 mm), l'examen radiographique conventionnel sera affiché (Figure II.30b). Cette fonction permet en même temps de vérifier la position d'un point de repère sur la radiographie et sur la coupe par un simple changement d'épaisseur. Des fonctions de mesure de base sont développées dans le logiciel (mesures linéaires et angulaires par tracé direct).

Cependant, cette fonction ne peut être réalisée que si les voxels des CBCT sont parfaitement isotropes. Seuls les CBCT de la collection de Toulouse répondent aux impératifs techniques et sont inclus dans le protocole d'évaluation des types faciaux et de la position de l'os hyoïde.

Les fonctions de mesure du logiciel 3S Imaging sont suffisantes et fiables pour notre protocole (qui consiste exclusivement en des mesures linéaires et angulaires).



Figure II. 30 : Obtention de radiographie de profil par augmentation de l'épaisseur
 a : Image d'une coupe (épaisseur 0.3 mm); b : image de la téléradiographie (épaisseur totale 17.1 mm)

2.3.3. Protocole de mesure

2.3.3.1. Choix et définitions des points utilisés

2.3.3.1.1. Points crânio-faciaux

La définition des points sélectionnés correspond à la définition céphalométrique retenue par les auteurs tout au long du développement des analyses céphalométriques. Ils ne sont pas strictement identiques aux points craniométriques habituellement utilisés en anthropologie car ces derniers peuvent être invisibles sur le film.

- Dans le plan sagittal

La définition et l'abréviation des points utilisés dans cette étude sont rapportées dans le tableau II.11 et illustrées dans la figure II.31.

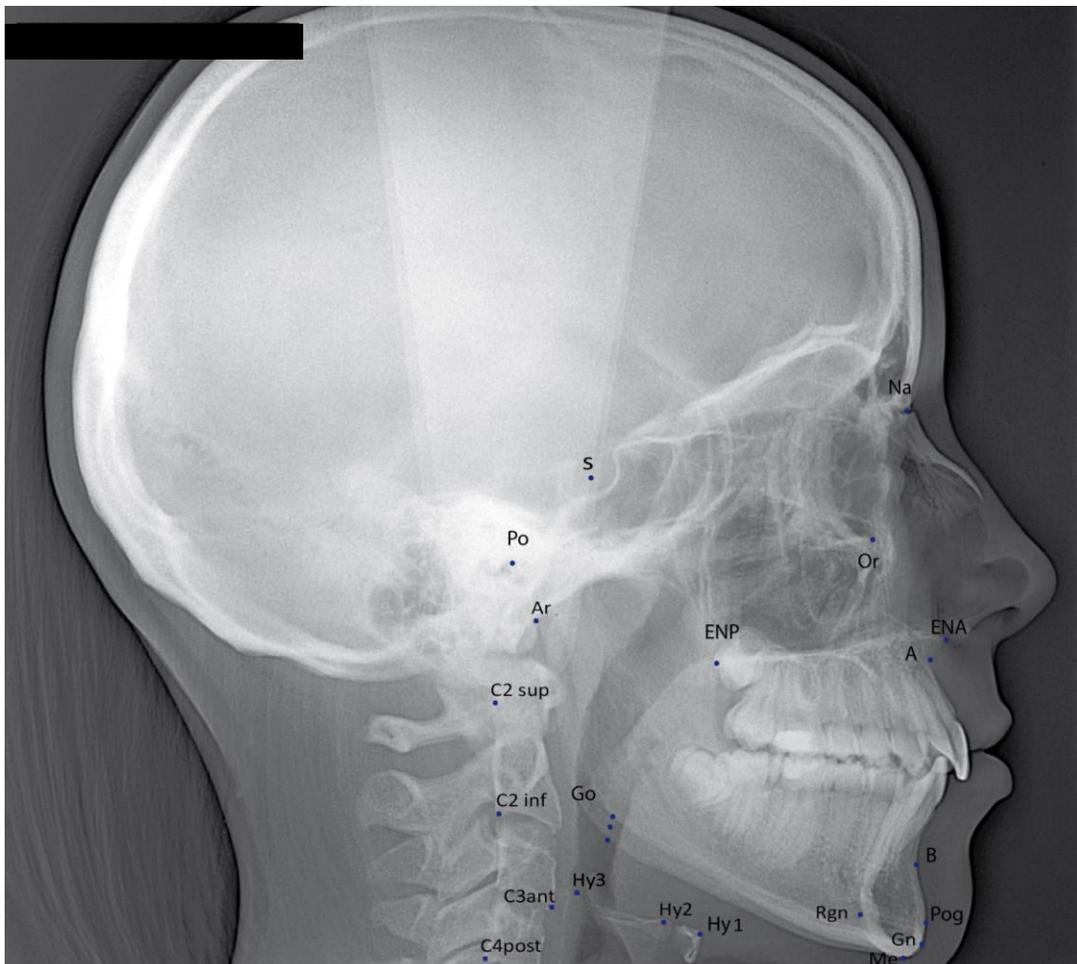


Figure II. 31 : Points céphalométriques sur la téléradiographie de profil

Point	Abréviation	Définition
Point de la selle turcique	S	Centre de l'image de la selle turcique
Nasion	N ou Na	Point le plus antérieur du bord supérieur de l'image de la suture fronto-nasale
Point orbitaire inférieur	Or	Point le plus déclive du cadre orbitaire à l'union du rebord orbitaire externe et du plancher orbitaire
Porion	Po	Point le plus haut du conduit auditif externe osseux, à l'intersection de ce bord avec une verticale passant par le milieu du conduit.
Point sous-épineux	A	Point le plus postérieur de la concavité située sous l'épine nasale antérieure.
Point sus-mentonnier	B	Point le plus postérieur de la concavité de la région de la symphyse mandibulaire
Point d'épine nasale antérieure	ENA	Point osseux situé à l'extrémité antérieure du plancher des fosses nasales
Point d'épine nasale postérieure	ENP	Point situé à l'extrémité postérieure du palais dur.
Point articulaire	Ar	Point de rencontre de l'image du bord postérieur du ramus avec la face exocrânienne du clivus occipital
Pogonion	Pg ou Pog	Point le plus antérieur de l'image de la symphyse
Rétrogonion	Rgn	Point le plus postérieur de la symphyse
Point Menton	Me	Point le plus inférieur de l'image de la symphyse mandibulaire, ce point correspond au Gnathion défini en craniométrie anthropologique.
Gnathion	Gn	Point du contour symphysaire situé à égale distance du Pog et du Me (Brodie 1941). Ce point diffère du Gnathion utilisé en craniométrie anthropologique.
Gonion	Go	Point d'intersection avec le contour mandibulaire de la bissectrice de l'angle formé par deux lignes tangentes aux parties postérieure et inférieure de l'angle goniale.

Tableau II. 11 : Points crânio-faciaux sur téléradiographie de profil

- Dans le plan frontal

Les points utilisés sont ceux figurant dans l'analyse de Ricketts (1957). Par contre, nous ne suivons pas sa convention terminologique pour les abréviations des points mais utilisons nos propres abréviations pour homogénéiser nos mesures.

- Points médians : Tableau II.12

Point	Abréviation	Définition
Nasion	Na	Point médian de la suture frontonasale
Épine nasale antérieure	ENA	Centre de l'image losangique observé sous la cloison nasale
Point menton	Me	Point le plus bas de la symphyse sur la ligne médiane

Tableau II. 12 : Points médians sur téléradiographie de face

- Points latéraux (cf figure II.34) : Tableau II.13

Point	Abréviation	Définition
Points zygomatiques	Zy1 et Zy2 (ZA et AZ par Ricketts)	Points situés à l'extrémité latérale de l'image ovale des arcades zygomatiques droite et gauche
Points goniaux	Go1 et Go2	Points au milieu du bord de la saillie de la région goniale droite et gauche sur cliché frontal

Tableau II. 13 : Points latéraux sur téléradiographie de face

2.3.3.1.2 Points sur l'os hyoïde

Sur la téléradiographie de profil, le point utilisé par la plupart des auteurs est le point le plus antéro-supérieur, ou le plus antérieur du corps de l'os hyoïde. Nous avons choisi le point le plus antérieur du corps car c'est le point le plus facilement repérable et il est également comparable au point que nous avons utilisé pour les mesures en 3D.

Pourtant, ce point ne représente que la position du corps. Comme Doual (2003) l'a montré dans son étude des variations des grandes cornes en fonction de la divergence faciale, leur étude nous semble nécessaire. Nous avons adopté l'axe des grandes cornes défini par cet auteur, utilisant un point supéro-antérieur et supéro-postérieur des grandes cornes, repéré sur le cliché téléradiographique de profil. Pour mieux repérer ces points, difficiles à voir sur la radiographie de profil en raison de leur faible densité, nous les avons vérifiés sur des coupes sagittales. Cette vérification nous permet en plus de reconnaître des cas où les axes des deux grandes cornes ne sont pas parallèles, la mesure de l'angulation des grandes cornes au plan vertical de référence est alors réalisée pour chaque côté (figure II.32). Les points utilisés sont résumés dans le tableau II.14.

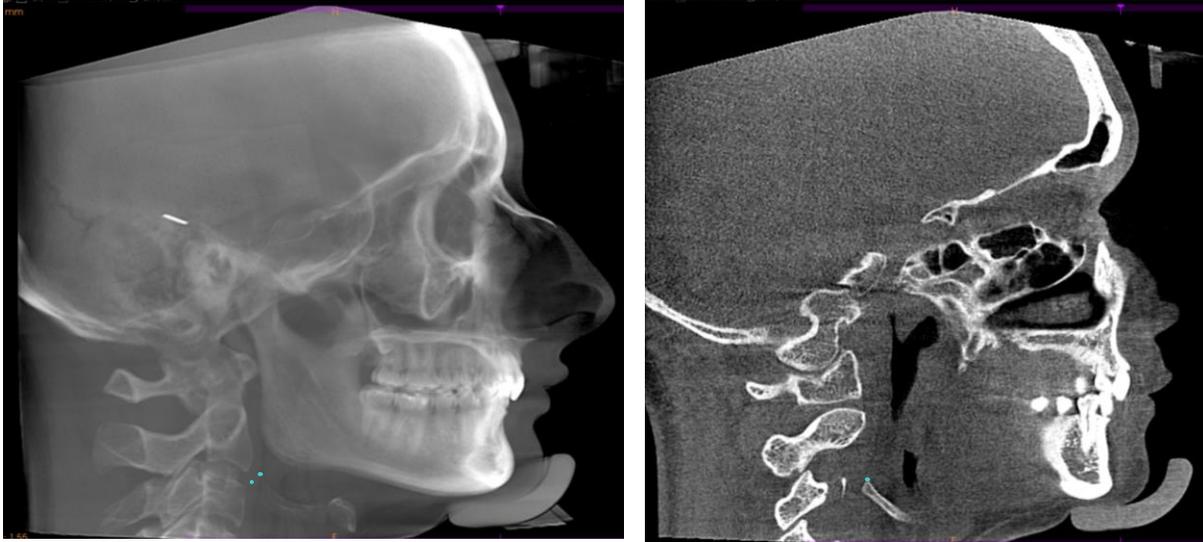


Figure II. 32 : Identification des points postérieurs des grandes cornes sur la radiographie et sur la coupe sagittale

Point	Abréviation	Définition
Point Hyoïde	Hy1	Point le plus antérieur du corps de l'os hyoïde
Point Hyoïde projection	Hypr	Projection de Hy1 sur la ligne Go-Gn
Point antérieur des grandes cornes	Hy2	Point à l'angle supéro-antérieur des grandes cornes
Point postérieur des grandes cornes	Hy3	Point à l'angle supéro-postérieur des grandes cornes

Tableau II. 14 : Points sur l'os hyoïde sur téléradiographie de profil

2.3.3.1.3 Points sur les vertèbres cervicales

Les points sur les corps vertébraux sont choisis pour mesurer l'angle du corps vertébral avec la base du crâne et la courbure cervicale et pour mesurer la position de l'os hyoïde par rapport à la colonne cervicale. Dans les scans de notre collection et donc dans les téléradiographies générées, les vertèbres visibles sont C1 à C4, voire C3 seulement. Nous avons sélectionné des points utilisés dans les études de Solow et Tallgren (1976), Tallgren (1983) et repris par plusieurs autres auteurs (eg. Sahin Saglam *et al.* 2005, Hardig-Kata *et al.* 2008) dans des études céphalométriques de la posture céphalique :

- Point C2 sup : angle postéro-supérieur de C2 (Nommé cv2^{te} par Solow et Tallgren 1976)
- Point C2 inf : angle postéro-inférieur de C2 (Nommé cv2^{ip} par Solow et Tallgren 1976)
- Point C3 ant : angle antéro-inférieur de C3
- Point C4 post : angle postéro-inférieur du C4 (Nommé cv4^{ip} par Solow et Tallgren 1976)

2.3.3.1.4 Les lignes et plan de références

À partir de ces points de repère, les plans et lignes de référence décrits dans le tableau II.15 ont été construits (Figure II.33).

Sens	Plan	Dénomination dans notre étude
Horizontal	Plan S- Na	Plan de la base du crâne
	Plan Francfort Po- Or	Plan Fr (Plan horizontal de référence)
	Ligne bi-spinale ENA-ENP	Plan maxillaire
	Plan mandibulaire de Steiner Go – Gn	Plan mandibulaire 1
	Plan mandibulaire de Tweed	Plan mandibulaire 2
	Ligne horizontale passant par Me et C3	Ligne Me-C3
Vertical	Plan vertical perpendiculaire au plan Francfort, passant par le point Porion	Plan Po (Plan vertical de référence)
	Plan vertical perpendiculaire au plan Francfort, passant par le point C3 ant	Plan vertical de C3
	Plan vertical perpendiculaire au plan Francfort, passant par le point Hy1	Plan vertical Hyoïde
	Ligne tangente à C2 par les points C2sup et C2inf	Ligne C2 (OPT dans l'étude de Solow et Tallgren)
	Ligne reliant C2sup et C4post	Ligne C4 (CVT dans l'étude de Solow et Tallgren)
	Plan passant par les points Hy2-Hy3	Plan des grandes cornes

Tableau II. 15 : Plans et lignes utilisés dans les mesures céphalométriques

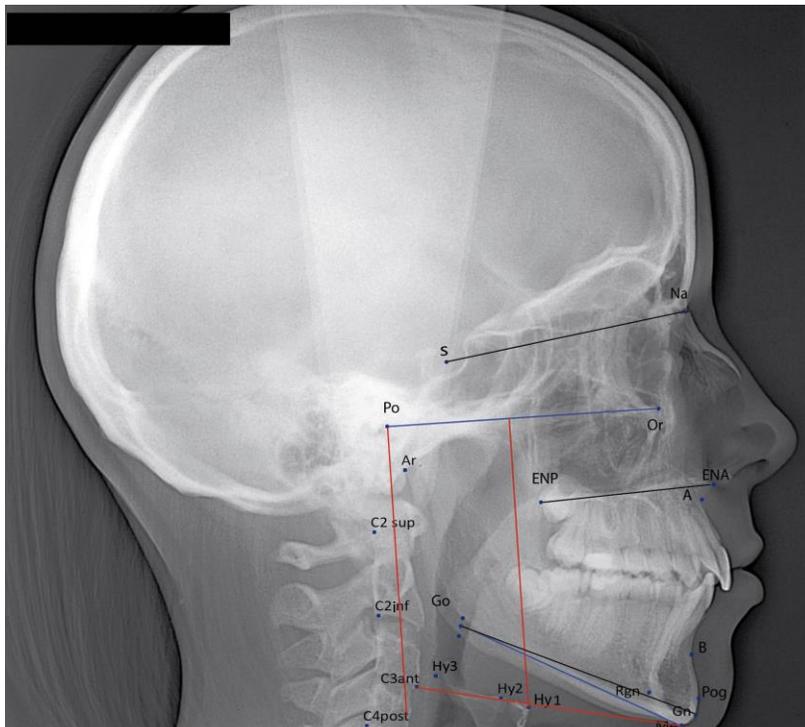


Figure II. 33 : Plans et lignes de référence utilisés dans notre étude

2.3.3.2. Mesures effectuées

2.3.3.2.1. Détermination des types faciaux

Nous avons sélectionné des mesures pour déterminer la typologie de la face dans les trois plans de l'espace : sagittal, vertical et frontal (transversal) à partir de l'analyse céphalométrique simplifiée proposée par Philippe et Loreille (2000).

D'après ces auteurs, les trois mesures qui, rassemblées, paraissent le mieux caractériser un type facial sont :

- pour le sens sagittal : l'angle ANB : angle formé par le point sous-épineux (A), le nasion (NA) et le point sus-mentonnier (B) qui exprime la relation antéro-postérieure entre le maxillaire et la mandibule.
- pour le sens vertical : l'angle entre le plan de la base du crâne SN et le plan mandibulaire (Go-Gn).
- pour le sens frontal : l'indice de prosopie entre la hauteur faciale totale et largeur faciale au niveau des zygomatiques.

Pour mieux préciser le type vertical, nous avons ajouté les mesures de l'angle entre le plan mandibulaire et le plan de Francfort (l'angle FMA), de l'angle entre le plan bi-spinal et le plan mandibulaire.

Pour le sens transversal, nous avons ajouté des mesures de largeur faciale au niveau des orbites et des angles mandibulaires. Ces mesures permettent le calcul des corrélations dimensionnelles avec les données concernant l'os hyoïde et les VAS.

a. Plan sagittal

- Mesures

Abréviation	Définition	Mesure
SNA	Angle du maxillaire avec la base du crâne	Angle entre les points S, Na, A
SNB	Angle de la mandibule avec la base du crâne	Angle entre les points S, Na, B
ANB	Relation antéro-postérieure maxillo-mandibulaire	Angle entre les points A, Na, B

Tableau II. 16 : Mesures des angles pour l'évaluation de la classe squelettique

- Classification typologique

Dans le plan sagittal, nous avons choisi l'angle ANB de Riedel (1952) (Figure II.34), l'angle le plus utilisé et repris dans de nombreuses analyses céphalométriques (dont celles de Tweed 1954 et de Steiner 1953). Cet angle exprime la relation antéro-postérieure entre le maxillaire et la mandibule et permet de déterminer la classe squelettique (classification de Ballard, 1951).

- **Angle ANB $\leq 0^\circ$** : La relation est de type classe III squelettique : le maxillaire est en retrait par rapport à la mandibule. Cette relation peut être due à une rétro-maxillie ou une pro-mandibulie ou une combinaison des deux.
- **$0^\circ < \text{Angle ANB} \leq 4^\circ$** : La relation est de type classe I squelettique : le maxillaire est en relation harmonieuse avec la mandibule.
- **Angle ANB $> 4^\circ$** : La relation est de type classe II squelettique : le maxillaire est en avant par rapport à la mandibule. Cette relation peut être due à une pro-maxillie ou une rétro-mandibulie ou une combinaison des deux.

Les angles SNA et SNB renseignent sur la relation antéro-postérieure du maxillaire ou de la mandibule avec la base du crâne, ce qui peut expliquer partiellement l'origine des décalages observés. Dans une classe II par exemple, si l'angle SNA présente une valeur plus grande que la norme, le maxillaire est en position protrusive par rapport à la base du crâne, le décalage antéro-postérieure est dû à une promaxillie. Si l'angle SNB est plus petit, la mandibule est en retrait par rapport à la base du crâne, le décalage est à une rétromandibulie.

En plus des mesures des angles permettant de déterminer la classe squelettique, trois mesures complémentaires apportant des appréciations quantitatives des dimensions faciales dans le plan sagittal sont également mesurées :

Abréviation	Définition	Mesure
ENA-Ar	Profondeur faciale de l'étage moyen	Distance ENA - Ar
Long Max	Longueur maxillaire	Distance ENA - ENP
Long Mand	Longueur mandibulaire	Distance Go-Gn
Me-Plan Po	Profondeur faciale de l'étage inférieur	Distance du point Me au plan Po
Me-Cerv	Profondeur faciale cervico-mandibulaire	Distance du point Me à la colonne vertébrale

Tableau II. 17 : Mesures des dimensions faciales sagittales

b. Plan vertical :

- Les mesures sont regroupées dans le tableau II.18 et dans la figure II.34

Abréviation	Définition	Mesure
FMA	Inclinaison de la mandibule par rapport au plan de Francfort	Angle entre le plan de Francfort et le plan mandibulaire 2
SN-GoGn	Inclinaison de la mandibule par rapport à la base du crâne.	Angle formé par la ligne SN et le plan mandibulaire 1
Mx-GoGn	Inclinaison de la mandibule par rapport au maxillaire.	Angle formé par le plan bi-spinal et plan mandibulaire 1

Tableau II. 18 : Mesures des angles pour l'évaluation du type facial vertical

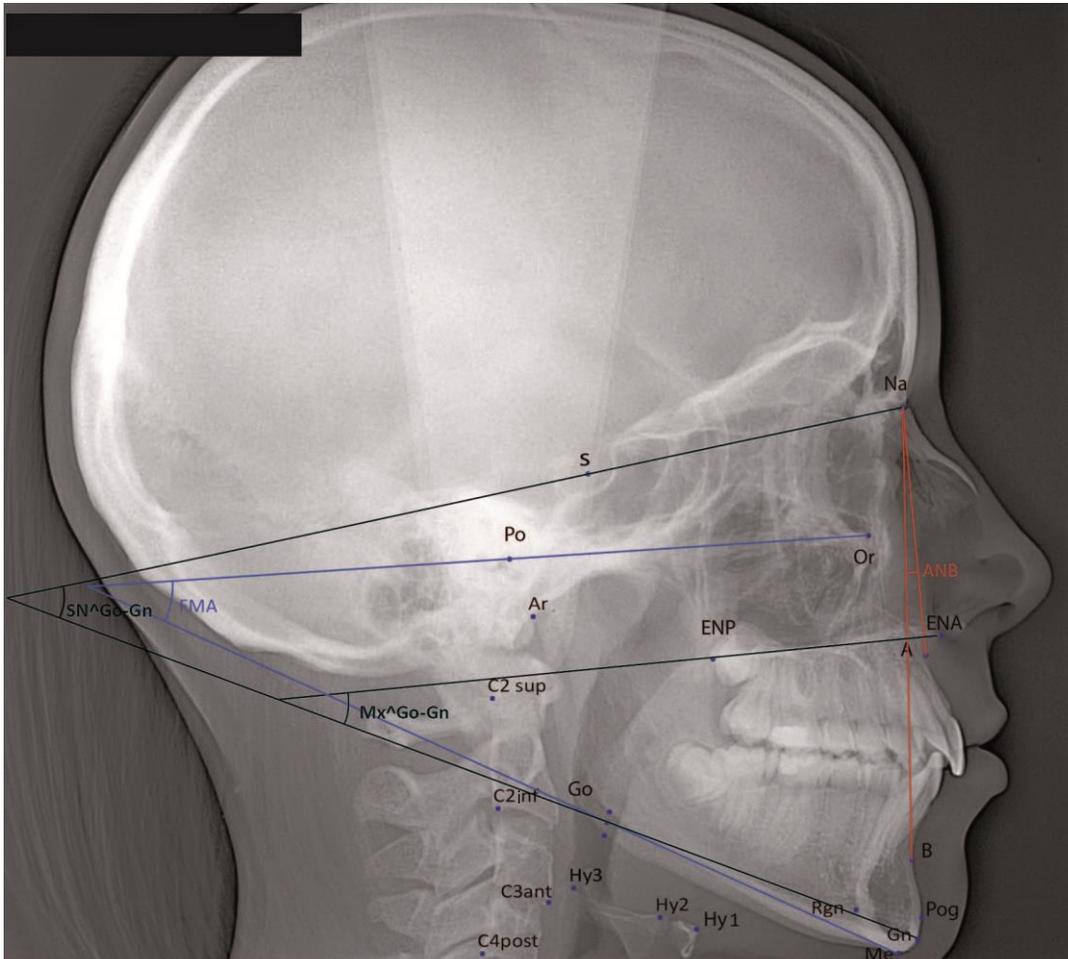


Figure II. 34 : Mesures permettant la détermination des types faciaux sagittaux et verticaux

- Classification typologique

Schudy (1968) a proposé les termes **hypo- et hyper-divergents** pour désigner les faces dont la dimension verticale antérieure est diminuée ou augmentée.

Pour Schudy (1968),) seul l'angle mandibule-base du crâne suffit pour définir les types verticaux hypo- ou hyper-divergents. Pourtant, cet angle peut être influencé par l'orientation de la base du crâne et parfois conduire à une interprétation imprécise du type facial vertical du sujet. Dans ce cas, l'angle entre le plan mandibulaire et le plan de Francfort (FMA), défini par Tweed (1954), semble évaluer mieux l'inclinaison de la mandibule. L'angle FMA présente un inconvénient : les points qui définissent le plan de Francfort (le porion surtout) sont parfois difficilement identifiables sur des clichés de téléradiographie de profil conventionnels par la présence de l'outil de localisation de l'oreille. Sur la radiographie reconstituée à partir des scans, que nous utilisons, cet inconvénient est éliminé.

Compte tenu de ces inconvénients, l'utilisation d'une seule mesure pour déterminer la typologie verticale induit un risque d'erreur de classement dans certains cas.

Pour minimiser ce risque, nous nous sommes basé sur les 3 angles décrits dans le tableau II.19. Le type facial est évalué par la concordance de deux au moins des trois mesures. Le tableau II.18 présente les valeurs de ces 3 angles utilisées pour la classification.

	Hypodivergent (Face courte)	Mésodivergent (Face moyenne)	Hyperdivergent (Face longue)
Angle FMA (D'après Tweed 1954)	$FMA < 22^{\circ}$	$22^{\circ} \leq FMA \leq 28^{\circ}$	$FMA > 28^{\circ}$
Angle SN-GoGn (D'après Steiner 1953)	$SN-GoGn < 27^{\circ}$	$27^{\circ} \leq Sn-GoGn \leq 37^{\circ}$	$Sn-GoGn > 37^{\circ}$
Mx-GoGn (D'après Béquain <i>et al.</i> (1989))	$Mx-GoGn < 15^{\circ}$	$15^{\circ} \leq Mx-GoGn \leq 25^{\circ}$	$Mx-GoGn > 25^{\circ}$

Tableau II. 19 : Valeurs des angles mesurés pour la classification de la typologie verticale

c. Plan frontal (transversal)

- Mesures : Les mesures effectuées sont présentées dans le tableau II.20 et dans la figure II.35

Abréviation	Définition	Mesure
Larg Zy	Largeur bitygomatique	Distance Zy1-Zy2
Larg Go	Largeur biangulaire	Distance Go1-Go2
Na-Me	Hauteur faciale totale	Distance Na - Me
Na-ENA	Hauteur de l'étage moyen de la face	Distance Na - ENP
ENA-Me	Hauteur de l'étage inférieur de la face	Distance ENA - Me

Tableau II. 20 : Mesures sur téléradiographie de face

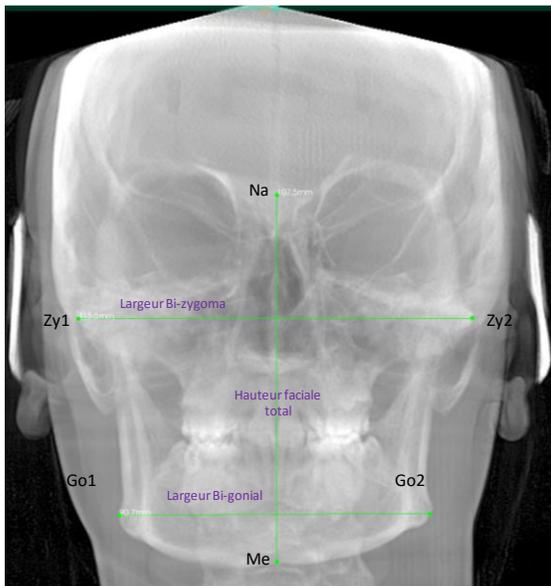
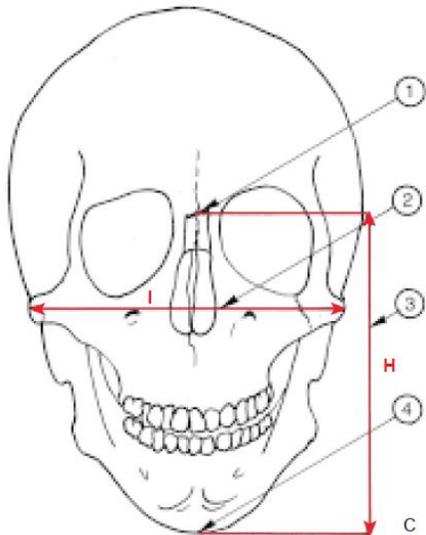


Figure II. 35 : Points céphalométriques et mesures sur la téléradiographie frontale

- Classification typologique

Dans les analyses céphalométriques frontales, très peu de classifications des types faciaux sont proposées et aucune n'est couramment utilisée en clinique. Philippe et Loreille (2011) rappellent l'utilisation de l'indice facial pour différencier 5 types de face : hyperlarge, large, moyen, étroit et très étroit (Figure II.36) Pourtant, cet indice (calculé par le rapport de la hauteur sur la largeur faciale) prend en compte en même temps la dimension verticale et transversale de la face, la détermination d'un type facial transversal basée sur cet indice semble peu précise car il est fortement influencé par le facteur vertical. Ceci est confirmé par l'utilisation initiale de cet indice en anthropologie pour désigner les faces longues ou courtes.

Nous ne déterminerons donc pas de types faciaux transversaux, mais utiliserons simplement des mesures de largeur et de hauteur de la face pour les tests de corrélation.



$$If = \frac{\text{Hauteur totale de la face (Na - Me) - 100}}{\text{Largeur bizygomatique externe (Zy1Zy2)}}$$

Face hyperlarge (hypereuryprosopie) : If < 80

Face large (euryprosopie) : If = 80-84.9

Face moyenne (mésoprosopie) : If = 85-89.9

Face étroite (leptoprosopie) : If = 90-94

Face très étroite (hyperleptoprosopie) : If > 95

Figure II. 36 : Mesure de l'indice facial (If)
D'après Philippe et Loreille (2000)

2.3.3.2.2 Mesures de la posture céphalique

Les mesures effectuées sont résumées dans le tableau II.21 et dans la figure II.37.

Abréviation	Définition	Mesure
Angle C2-SN	Orientation de la tête par rapport à C2	Angle entre SN et ligne C2
Angle C4-SN	Orientation de la tête par rapport à C4	Angle entre SN et ligne C4
Angle C2-C4	Courbure cervicale	Angle entre ligne C2 et ligne C4

Tableau II. 21 : Mesures de posture céphalique.

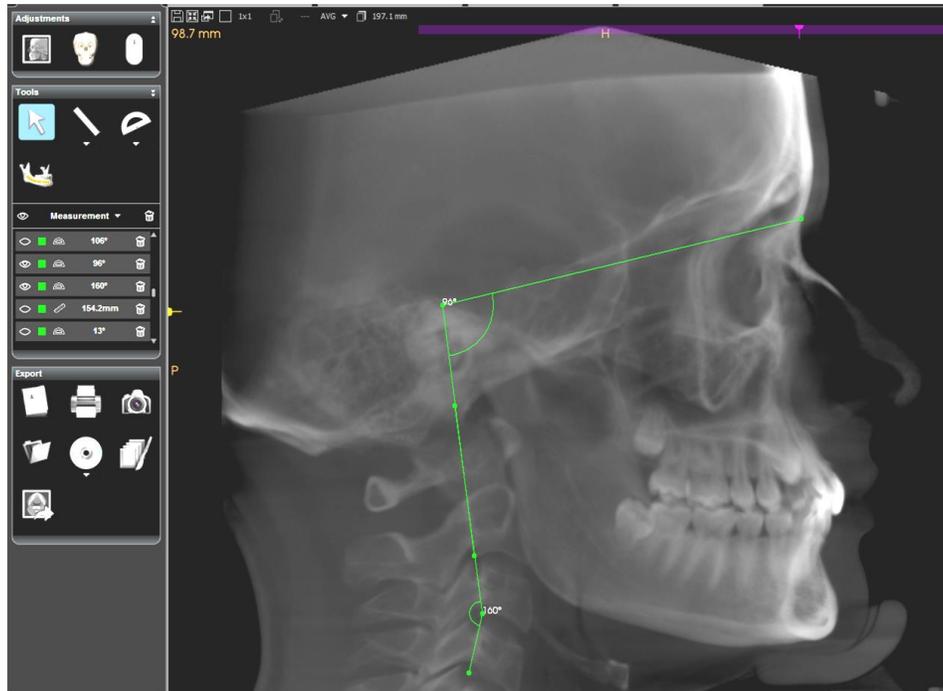


Figure II. 37 : Mesures de l'orientation de la tête par rapport à C2 et de courbure cervicale

2.2.3.2.3 Mesures de position de l'os hyoïde

a. Position horizontale :

Les mesures effectuées sont résumées dans le tableau II.22 et dans la figure II.38.

Abréviation	Définition	Mesure
HyGo	Position horizontale relative de l'os hyoïde par rapport à l'angle mandibulaire	Hypr -Go
HyGn	Position horizontale relative de l'os hyoïde par rapport à la partie antérieure de la symphyse	Hypr-Gn
HyRgn	Position horizontale relative de l'os hyoïde par rapport à la partie postérieure de la symphyse	Hy-RGn
Hy-C3 hor	Position horizontale relative de l'os hyoïde par rapport à la vertèbre C3	Hy-C3ant
Hy-Plan Po	Position horizontale relative de l'os hyoïde par rapport au plan de référence Po	Hy \perp perpendiculaire au plan Po

Tableau II. 22 : Mesures de la position horizontale de l'os hyoïde

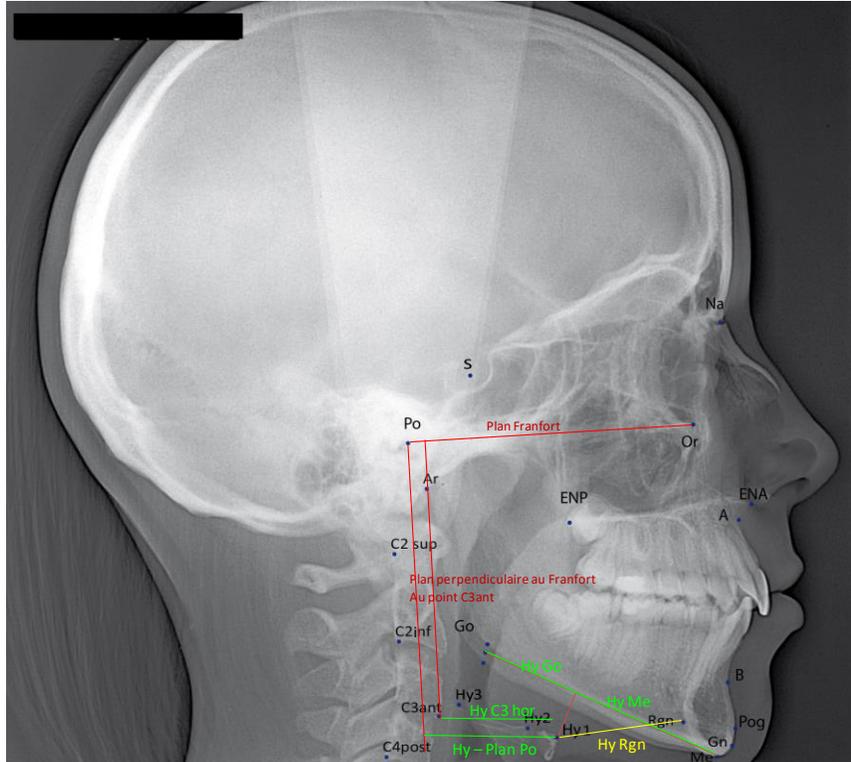


Figure II. 38 : Mesures de la position horizontale de l'os hyoïde

- Position verticale de l'os hyoïde

Les mesures effectuées sont résumées dans le tableau II.23 et dans la figure II.39. Les distances sont mesurées du point Hy perpendiculairement aux plans de références.

Abréviation	Définition	Mesure
Hy-S	Position verticale de l'os hyoïde par rapport à la base du crâne	Distance Hy1-SN
Hy-Fr	Position verticale de l'os hyoïde par rapport au plan de Francfort	Distance Hy1-plan de Francfort
Hy-Mx	Position verticale de l'os hyoïde par rapport au maxillaire	Distance Hy1-plan ENA-ENP
Hy-GoGn	Position verticale de l'os hyoïde par rapport à la mandibule	Distance Hy1-plan mandibulaire 1 (GoGn)
Hy-C3 ver	Position verticale de l'os hyoïde par rapport à la troisième vertèbre cervicale	Distance Hy1-plan parallèle au plan de Francfort passant par point C3
Hy-C3Me	Position verticale de l'os hyoïde par rapport à la ligne de référence.	Distance Hy1-ligne Me C3
GC d/plan Po, GC g/ plan Po	Angle de l'axe des grandes cornes (droite GC d, gauche GC g) par rapport au plan Po	Hy2Hy3-plan Po

Tableau II. 23 : Mesures de la position verticale de l'os hyoïde

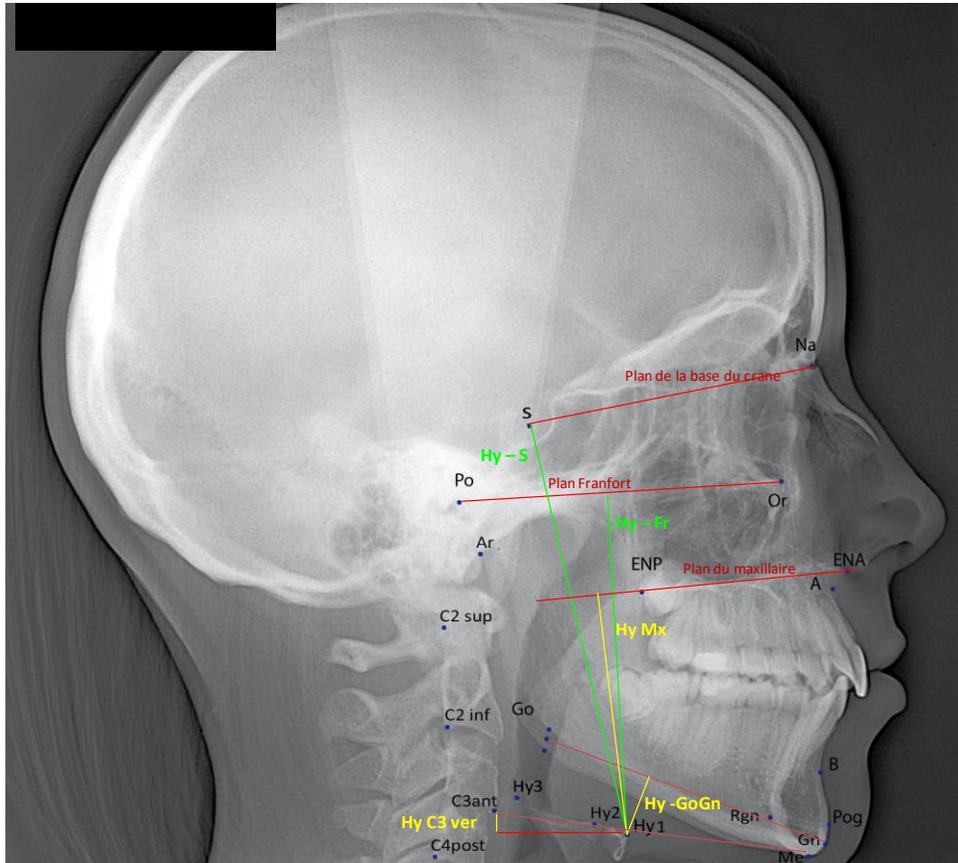


Figure II. 39 : Mesures de la position verticale de l'os hyoïde

3. Analyse statistique

3.1. Fiabilité des mesures

3.1.1. Variables étudiées et origines possibles des erreurs de mesure

Avant tout, nous devons valider la fiabilité des méthodes de mesure adoptées. Nous analysons donc les sources possibles d'erreur pour ensuite procéder aux tests appropriés afin d'évaluer la fiabilité.

3.1.1.1. Erreurs des mesures en 3D

Les erreurs lors des mesures 3D peuvent survenir dans les deux grandes étapes du protocole:

- l'étape de segmentation et reconstruction de l'os hyoïde et des VAS,
- l'étape de mesure : ce sont des erreurs de positionnement des points.

3.1.1.1.1. Erreurs dues à la segmentation et à la reconstruction des images

Ce biais est lié à la qualité des scans et au logiciel utilisé. La segmentation influence directement les valeurs des volumes des VAS (calculés par le logiciel à partir du nombre de voxels inclus dans la segmentation).

Le biais de reconstruction surfacique lié au logiciel TIVMI, plus précisément à l'algorithme HMM utilisé dans ce logiciel, a été évalué par Guyomarc'h (2011) sur un modèle fantôme de dimensions connues créé par Dutailly et *al.* (2009). Cet auteur démontre qu'il existe une erreur négligeable de l'ordre de moins de 2 % des distances mesurées sur le fantôme.

Nous allons évaluer ce biais sur 30 individus dans une approche intra-observateur en deux fois : 15 cas sont réalisés au début de la mise en place du protocole, puis 15 cas après la maîtrise du protocole.

3.1.1.1.2. Erreurs liées au positionnement des points de repère

Les points de repère utilisés pour des mesures doivent être suffisamment reproductibles pour assurer la fiabilité de la méthode. Les points de repère de type III de Bookstein (1999) dépendent de l'angle de vue au moment du positionnement et présentent le plus de risques d'erreur. Ce type d'erreur peut survenir dans les mesures des dimensions des os hyoïdes.

Pour minimiser cette erreur, les points identifiés par des intersections sont prioritairement choisis dans notre méthode. Des tests intra-observateur ont été utilisés pour vérifier la répétabilité dans une série de 15 enfants et 15 adultes.

Le test inter-observateur n'a pas pu être réalisé par contrainte de temps et du personnel.

3.1.1.2. Erreurs des mesures 2D

Les mesures 2D dans notre étude sont exclusivement des mesures linéaires et angulaires. Sans compter l'erreur due au positionnement des points de repère crânio-faciaux dont les définitions et identifications ont été justifiées dans les analyses céphalométriques, l'erreur affectant ces mesures dépend de la méthode de mesure elle-même, ici une mesure digitale par tracé direct.

3.1.2. Tests intra-observateur

Les tests intra-observateur évaluent également les biais inhérents à l'expérience de l'examineur et à la facilité de compréhension du protocole de mesure. Pour chaque protocole de mesure, 3D ou 2D, nous avons réalisé à deux reprises nos mesures sur un échantillon de 15 sujets sélectionnés au hasard, avec un intervalle de 2 semaines. Les résultats de ces deux séries sont comparés les uns aux autres pour vérifier la répétabilité de la méthode.

Mesure	Groupe de variables	Test de fiabilité	Nombre de sujets
3D	Dimensions des VAS	Intra observateur	15 sujets en début de protocole
			15 sujets après maîtrise du protocole
2D	Dimensions de l'os hyoïde	Intra observateur	15 adultes
			15 enfants
2D	Typologie faciale	Intra observateur	15 sujets (enfants et adultes)
	Position de l'os hyoïde	Intra observateur	15 sujets (enfants et adultes)

Tableau II. 24 : Résumé des tests intra-observateur

Pour chaque test intra-observateur, notre approche analytique statistique est explicitée ci-dessous.

3.1.2.1. Recherche d'un biais systématique

Le biais systématique, qui dépend de la tendance de l'observateur ou de l'outil utilisé à systématiquement surévaluer ou sous-évaluer la mesure. Le calcul des différences brutes entre les deux séries de mesures permettent d'évaluer non seulement l'amplitude de l'erreur observée mais également de connaître la direction de ces différences. Le biais systématique est absent si ces différences brutes sont négatives et positives. En cas de doute, un test t de Student peut être effectué pour vérifier l'existence de biais systématique.

3.1.2.2. Calcul des coefficients de concordance de corrélation (CCC)⁶ de Lin (Lin 1989)

Nous avons ensuite calculé le coefficient de concordance. Ce coefficient prend en compte la variance au sein de chaque série de mesures considérée, la covariance entre les deux séries ainsi que les moyennes des deux séries, et permet ainsi de résumer à la fois les différences de moyenne et de distribution entre les deux séries de mesures considérées. La concordance entre les deux séries de mesures peut être considérée très bonne à partir d'une valeur de 0.9 (tableau II.24).

Les variables présentant un coefficient de concordance faible seront vérifiées ensuite par d'autres méthodes statistiques, utilisant le graphique de Bland-Altman pour figurer si l'ampleur de la différence dépasse un écart-type ou le nuage de points pour voir la dispersion des mesures.

CCC	Degré de fiabilité
> 0.99	Presque parfait
0.95 - 0.99	Substantiel
0.90 - 0.95	Moyen
< 0.90	Insuffisant

Tableau II. 25 : Degré de fiabilité défini par Lin (1989)

⁶ Le CCC sera l'abréviation que nous utilisons tout au long de notre présentation des résultats

3.2. Analyse descriptive des variables étudiées

3.2.1. Analyse descriptive

Les valeurs moyennes, les écart-types, les valeurs maximales et minimales sont tous calculés pour chaque variable quantitative afin d'avoir une appréciation globale des dimensions étudiées.

3.2.2. Dépistage des valeurs aberrantes

Pour les variables qui présentent un écart-type important, une démarche complémentaire pour dépister les valeurs aberrantes est effectuée. Nous utilisons d'abord les "boxplots" qui permettent de visualiser la valeur ou les valeurs isolées trop éloignées de la moyenne, puis les nuages de points pour repérer le (ou les) sujet(s) ayant cette valeur et de valider cette valeur avec les autres valeurs du même échantillon. En cas de doute, un test de Dixon peut être appliqué.

3.3. Tests de comparaison

Le sexe, l'âge de l'enfant, la population d'origine, les types faciaux (sagittal ou vertical) sont des facteurs susceptibles d'influencer la variabilité des paramètres étudiés. Nous avons étudié leur influence en comparant différents sous-échantillons triés en fonction de ces facteurs. Nos variables sont divisibles en groupes distincts, aussi des comparaisons deux à deux sont faites pour dépister des différences significatives entre les variables homologues des deux groupes différents. Le test t de Student est la technique adaptée pour cet objectif. L'utilisation du test t requiert que les variables suivent une distribution normale (un échantillon soumis à la loi normale a pour propriété d'inclure 68 % de ses observations dans plus ou moins 1 écart-type à sa moyenne, et 95 % dans ± 2 écart-types). Un test (type Shapiro-Wilk) pour tester la normalité doit être fait préalablement au test de comparaison.

Malgré l'effectif de l'échantillon total initial est grand (177 sujets), quand nous divisons en sous-groupes, ils présentent parfois des effectifs faibles (moins de 10 sujets par sous-groupe), pour lesquelles la loi de normalité ne peut pas être assurée. Pour ces cas, le test non-paramétrique de Wilcoxon, une alternative de test t, applicable pour les distributions non normales ou normales des variables doit être appliquées. Vu le nombre important des différents sous-groupes dans notre analyse avec des différents effectifs pour chaque sous-groupe, et pour homogénéiser les tests, nous avons choisi de réaliser le test de Wilcoxon pour toutes ces comparaisons

Pour comparer plus de deux groupes de variables, un autre test non-paramétrique de comparaison est utilisé, le test Kruskal-Wallis.

Certes, pour les variables qui suivent la loi normale, le test t de Student est plus fort pour dépister les différences significatives (Lehamnn 1999), nous appliquons ce test pour des

comparaisons entre les sous-échantillons ayant un effectif important (> 30 individus pour chaque groupe), ce qui permet d'ignorer le test de normalité sans problème majeur (Miler 1986).

Pour évaluer les différences entre les deux séries de mesures du test intra-observateur, en but de dépister en maximum leurs différences significatives, le test t est également utilisé. Pour ces comparaisons, la vérification de la distribution normale est réalisée préalablement. Dans la méta-analyse entre les différentes études, à condition d'avoir les moyennes, écart-types et la taille de l'échantillon, nous appliquons également le test t de Student.

Nous détaillons ci-dessous l'application des différents tests de comparaison pour les groupes de variables

3.3.1. Test de Wilcoxon

Le test non paramétrique de Wilcoxon est utilisé pour les comparaisons de deux groupes (entre sexes, entre groupe d'âge, entre deux populations) pour les variables de dimensions de l'os hyoïde et des VAS.

3.3.2. Test de Kruskal-Wallis et post-hoc

Ce test est une généralisation du test de Wilcoxon à plus de deux échantillons, nous l'utilisons pour comparer les différents types faciaux. Lorsqu'une différence significative est mise en évidence, les tests post-hoc seront réalisés pour dépister les paires de l'échantillon qui diffèrent significativement entre eux.

3.3.3. Test de Fisher exact

Nous utilisons le test de Fisher exact dans le cas nous devons comparer des échantillons de faible effectif. Ce test calcule la probabilité exacte et ne fait pas appel à des fréquences théoriques et ne nécessite aucune condition d'application.

3.3.4. Analyse de covariance (ANCOVA) et graphiques de LOWESS (Locally Weighted Exponential Scatterplot Smoothing)

Nous utilisons ces analyses pour comparer les modifications en fonction de l'âge dans les deux sexes pour les dimensions de l'os hyoïde ou des VAS. L'ANCOVA permet d'évaluer l'impact du facteur sexe dans la liaison entre l'âge et les dimensions anatomiques lorsque cette liaison est linéaire, et fournit une p -valeur pour l'effet sexe. Lorsque l'hypothèse de linéarité n'est pas satisfaite, nous utilisons une régression locale (LOWESS) pour visualiser les différences de croissance en fonction du sexe.

3.4. Tests de relation entre variables

3.4.1. Corrélations

La relation entre deux variables quantitatives continues peut être évaluée par le coefficient de corrélation. Les coefficients de corrélation sont compris entre -1 et 1 (0 indique une absence de corrélation). Nous utilisons le coefficient de corrélation linéaire (r de Pearson) dans le cadre de matrices de corrélations afin d'étudier les liens entre deux variables à la fois.

Une corrélation est considérée comme significative si le coefficient r est supérieur en valeur absolue au r seuil déterminé en fonction du nombre d'individus inclus dans le test de corrélation. Vu le nombre important de corrélations que nous calculons sur les données, nous commenterons seulement les variables présentant un coefficient de corrélation significatif ($r \geq 0.3$ pour un échantillon de 70 sujets) (Cf. annexe II.5).

3.4.2. Analyses en composantes principales (ACP)

L'ACP consiste à synthétiser les informations contenues dans un tableau de données croisant les mesures de N observations sur X variables (Escofier et Pages, 1988). Elle permet de détecter les facteurs selon lesquels le nuage des points s'éloigne le plus de son centre de gravité (= point moyen). Ces axes synthétisent l'influence des observations et des variables les plus marquantes du tableau de données.

Nous utilisons les ACP lors de l'analyse des influences des types faciaux sur les groupes de variables de dimensions ou de position de l'os hyoïde et de dimensions des VAS.

Les tableaux II.26 et II.27 ci-dessous résument les tests statistiques appliqués dans notre étude.

- Mesures 3D

Sous-échantillons		Variables étudiées	Test statistique de comparaison	Test statistique de relation
Adultes	<i>Français (Hommes et Femmes)</i>	- Dimensions de l'os hyoïde - Dimension des VAS	- Wilcoxon - ANCOVA - Régression linéaire - Fonction discriminante	Coefficient de corrélation entre les dimensions de l'os hyoïde et des VAS
	<i>Vietnamiens (Hommes et Femmes)</i>			
Enfants	<i>Français (Filles et Garçons)</i>			
	<i>Vietnamiens (Filles et Garçons)</i>			

Tableau II. 26 : Synthèse des tests statistiques pour les mesures 3D

- Mesures 2D

Sous-échantillons		Variables étudiées	Test statistique de comparaison	Test statistique de relation
Typologie sagittale	<i>Classe I</i>	- Mesures faciales sagittales	1. Krussal-Wallis	Coefficients de corrélation entre les mesures faciales et des variables de l'os hyoïde et des VAS
	<i>Classe II</i>	- Mesures faciales verticales	2. Wilcoxon	
	<i>Classe III</i>	- Mesures faciales frontales	3. Analyse en Composantes Principales (ACP)	
Typologie verticale	<i>Normodivergent</i>	- Dimensions de l'os hyoïde	1. Krussal-Wallis 2. Wilcoxon 3. Analyse en Composantes Principales (ACP)	
	<i>Hypodivergent</i>	- Dimensions des VAS		
	<i>Hyperdivergent</i>	- Positions de l'os hyoïde (horizontales et verticales)		

Tableau II. 27 : Synthèse des tests statistiques pour les mesures 2D

Chapitre III :

RÉSULTATS

Chapitre III : RÉSULTATS

1. Fiabilité des mesures

1.1. Fiabilité des mesures en 3D

1.1.1. Mesures de l'os hyoïde

Le test intra-observateur a été réalisé sur deux échantillons, l'un de 15 enfants et l'un de 15 adultes. Les moyennes des valeurs absolues des différences entre deux séries de mesures, leurs valeurs maximales respectives et les coefficients de concordance de corrélation (CCC) sont présentés dans le tableau III.1. Les valeurs sont très proches entre les deux séries, les différences brutes ne dépassent pas 6 % de la moyenne et sont réparties de part et d'autre de 0, montrant l'absence d'erreur systématique (Figure III.1, III.2, III.3). Les coefficients de concordance de 0.95 à 0.99 prouvent la répétabilité de la méthode.

Variables	Moyenne des valeurs absolues des différences		Valeur absolue maximale des différences		Coefficients de concordance	
	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes
Larg totale (mm)	0.38	0.73	0.97	2.32	0.993	0.984
Larg ant (mm)	0.30	0.70	0.93	1.57	0.982	0.942
Larg ant Pr (mm)	0.31	0.69	0.91	1.70	0.980	0.944
Long totale (mm)	0.36	0.38	1.20	1.29	0.991	0.985
Long lat d (mm)	0.41	0.49	1.01	2.00	0.989	0.974
Long lat g (mm)	0.38	0.69	2.70	1.53	0.966	0.969
Long GCd (mm)	0.51	0.47	1.48	1.31	0.961	0.965
Long GCg (mm)	0.30	0.96	0.78	1.63	0.979	0.941
Long ant (mm)	1.88	1.59	1.27	1.49	0.994	0.973
Hy Angle (°)	0.36	0.54	3.50	2.36	0.958	0.845
GC Angle (°)	1.27	0.75	2.95	5.91	0.982	0.993

Tableau III. 1 : Résultats des tests de fiabilité des mesures intra-observateur des dimensions de l'os hyoïde

Les figures III.1-III.3 présentent les graphiques de la répartition des différences brutes des mesures de largeur (Larg totale), de longueur (Long totale) et de l'angle de l'os hyoïde entre les deux séries qui sont positives ou négatives, montrant l'absence d'une erreur systématique.

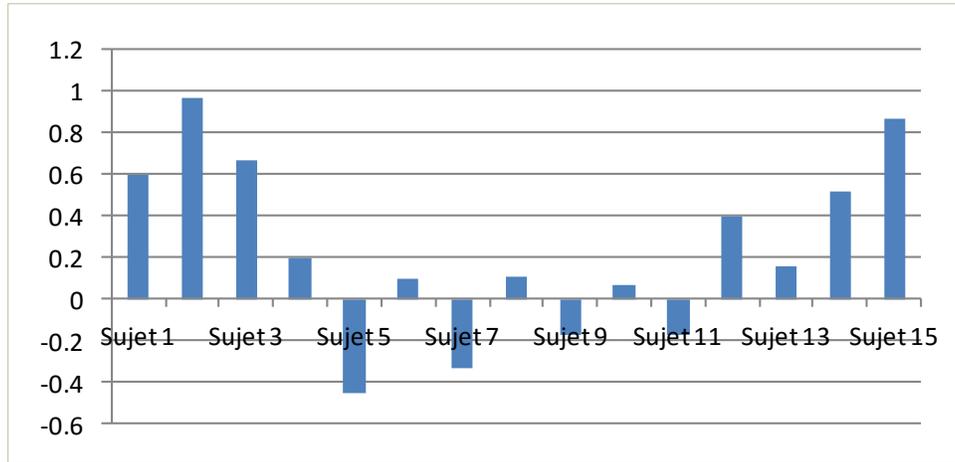


Figure III. 1 : Différences brutes de la variable "Larg totale" entre les deux séries de mesures chez les enfants

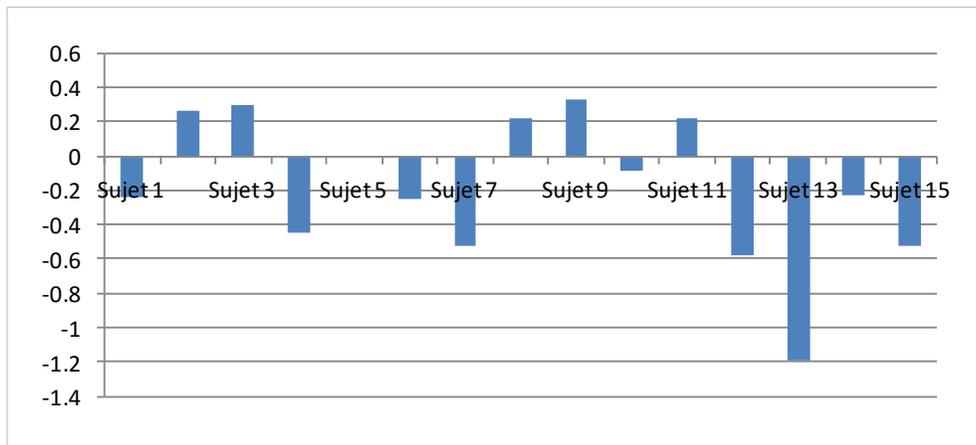


Figure III. 2 : Différences brutes de la variable "Long totale" entre les deux séries de mesures chez les enfants

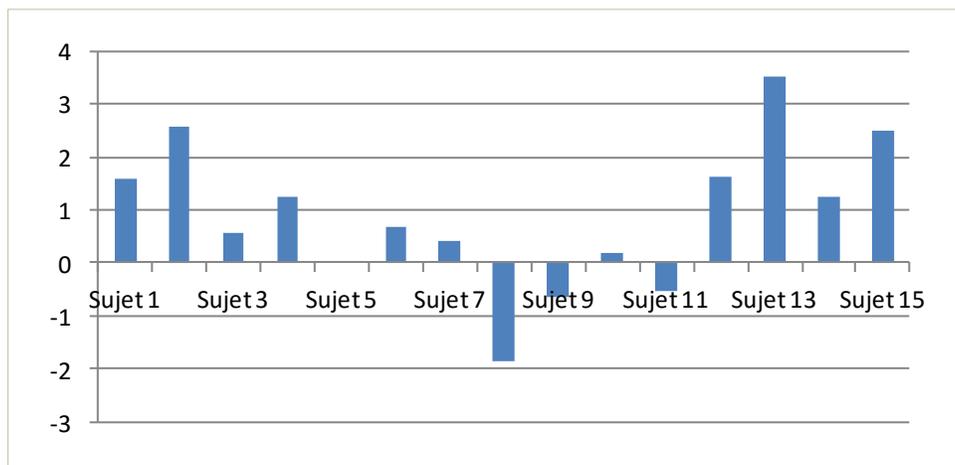


Figure III. 3 : Différences brutes de la variable "Hy Angle" entre les deux séries de mesures chez les enfants

1.1.2. Mesures des VAS

Le premier test intra-observateur a été réalisé au début de la conception et de la mise en place du protocole de mesures, sur 15 enfants. Les CCC de ces 2 séries sont présentés dans le tableau III.2. Nous pouvons constater que les CCC des mesures de volume total et des surfaces de section sont extrêmement élevés, (CCC volume = 0.995, CCC hauteur = 0.974), ils confirment la fiabilité de la segmentation des VAS par l'algorithme HMH dans le logiciel TIVMI. Le CCC de la hauteur totale des VAS est également très élevé (CCC hauteur totale = 0.997), ce qui démontre que la localisation des limites supérieure et inférieure des VAS choisies est correctement répétée par l'observateur.

Variables VAS 3D	CCC	Variables VAS 3D	CCC
S Cs	0.974	Long Cm	0.850
S Cm	0.981	Long Ci	0.994
S Ci	0.997	Long Cmin	0.955
S Cmin	0.996	Larg Cs	0.850
H totale	0.983	Larg Cm	0.660
V total	0.995	Larg Ci	0.994
Long Cs	0.969	Larg Cmin	0.926

Tableau III. 2 : CCC des mesures des VAS lors du 1^{er} test intra-observateur

En revanche, la concordance entre les deux séries n'est pas suffisamment élevée pour les mesures de longueur (CCC = 0.87) et de largeur (CCC = 0.66) de la coupe intermédiaire passant par la pointe de l'uvula (la coupe limite entre le nasopharynx et l'oropharynx). Le graphique de Bland et Altman des différences brutes montre une différence anormale dépassant un écart-type entre les deux mesures du sujet numéro 6 (Figure III.4 et III.5). Nous avons vérifié le protocole, cette erreur est due à une variation de position de la coupe choisie, dans les cas où la limite de la pointe de l'uvula n'est pas très différente de la base de la langue. Nous avons ensuite procédé au repérage de cette coupe de façon plus reproductible en déplaçant la coupe sagittale pour mieux voir la pointe de l'uvula, en vérifiant la terminaison de l'uvula sur la coupe axiale (la première coupe qui ne présente plus la saillie de l'uvula) ainsi qu'en la repérant après la reconstruction 3D des VAS (Figure III.6).

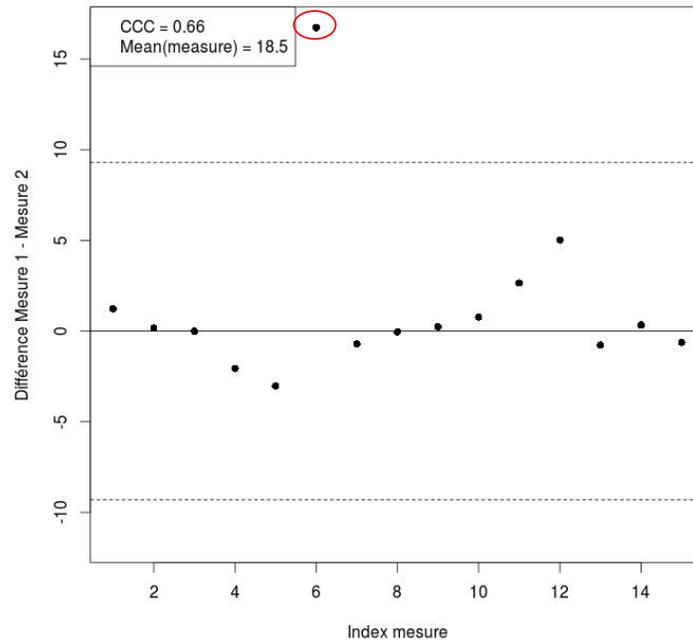


Figure III. 4 : Graphique de Bland et Altman et CCC de la mesure Larg Cm des VAS (sujet 6 présente une différence entre les deux séries anormalement élevée)

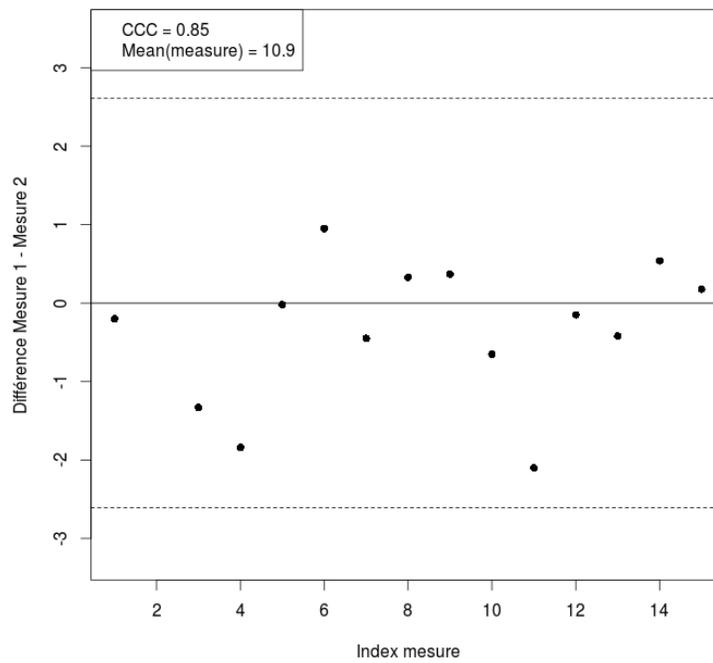


Figure III. 5 : Graphique de Bland et Altman et CCC de la mesure Longueur de la coupe intermédiaire des VAS



Figure III. 6 : Identification de la coupe intermédiaire

Un deuxième test intra-observateur pour les mesures des VAS a été ensuite réalisé. Les CCC de cette série varient de 0.954 à 0.998 (Tableau III.3), ce qui montre, après apprentissage et correction du protocole, la répétabilité des mesures choisies.

Variables	Moyenne 1	Moyenne 2	Moyenne des Ecart-Types	Moyenne des valeurs absolues des différences	Valeur absolue maximale des différences	CCC
V total (mm³)	15695.3	15615.4	5609.4	319.9	942	0.997
H totale (mm)	44.57	44.67	5.93	0.42	1.11	0.996
S Cs (mm²)	616.01	609.01	114.11	27.34	69.48	0.954
S Cm (mm²)	301.39	296.95	133.78	8.57	32.47	0.996
S Ci (mm²)	315.18	314.284	85.32	3.98	13.22	0.998
SC min (mm²)	256.02	253.676	98.33	6.25	28.44	0.996
Long Cs (mm)	20.00	19.97	2.91	0.44	0.94	0.981
Long Cm (mm)	10.55	10.37	2.07	0.36	1.04	0.977
Long Ci (mm)	12.058	11.98	2.62	0.26	0.88	0.99
Long Cmin (mm)	10.19	10.33	2.42	0.45	1.21	0.971
Larg Cs (mm)	29.27	29.46	3.02	0.59	2	0.96
Larg Cm (mm)	26.34	26.86	7.03	0.83	1.77	0.976
Larg Ci (mm)	29.55	29.53	4.42	0.53	2.23	0.981
Larg Cmin (mm)	25.68	25.69	6.82	0.47	2.23	0.994

Tableau III. 3 : CCC de la deuxième série de tests intra-observateur des mesures des VAS

La moyenne des différences absolues du volume est de 319.9 mm³, soit 4.5 %. Elle est très inférieure à un écart-type. Les mesures 3D du volume et des surfaces sont toujours très

reproductibles pour un même observateur. Pour les mesures linéaires de longueur et de largeur, la moyenne des différences absolues représente 2 à 3 % de la moyenne des deux séries.

1.2. Fiabilité des mesures 2D

1.2.1. Évaluation des types faciaux

1.2.1.1. Typologie sagittale et posture cervicale- Mesures sur téléradiographie de profil

Les moyennes des deux séries de mesures, la moyenne des deux écart-types, la moyenne des différences absolues, la valeur maximale de ces différences entre deux séries ainsi que les Coefficients de Concordance de Corrélation de Lin sont présentés dans le tableau III.4. Les CCC montrent une concordance excellente entre les deux séries de mesure comme les différences absolues maximales nettement inférieures à la valeur d'un écart-type. Ces tests confirment la fiabilité de la méthode.

Variables	Moyenne 1	Moyenne 2	Moyenne Ecart-Types	Moyenne des valeurs absolues des différences	Valeur absolue maximale des différences	CCC
SNA (°)	82.87	83.07	5.26	0.60	1.00	0.988
SNB (°)	78.73	78.87	5.04	0.53	1.00	0.989
ANB (°)	4.13	4.27	2.55	0.27	1.00	0.978
FMA (°)	21.73	21.93	6.34	1.40	2.00	0.965
Mx-GoGn (°)	21.93	21.67	7.18	0.80	1.00	0.992
SN-GoGn (°)	30.80	30.47	7.24	1.00	3.00	0.979
Angle C2-SN (°)	107.80	107.60	9.14	1.53	3.00	0.979
Angle C2-C4 (°)	171.00	171.20	6.74	1.8	3.00	0.949

Tableau III. 4 : CCC des mesures de typologie faciale entre deux séries intra-observateur

De plus, pour l'angle ANB, une différence de plus de 1° peut conduire à placer le sujet dans une autre classe squelettique. Nous avons pour cet angle 73.33 % de différence absolue égale à 0 et 26.67 % de différence absolue égale à 1° (Tableau III.5). Les sujets présentant des différences égales à 1° sont classés cependant dans la même classe squelettique.

Différence brute de ANB	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8
	-1	0	0	0	0	0	0	0
	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11	Sujet 12	Sujet 13	Sujet 14	Sujet 15	
0	0	1	-1	0	0	-1		

Tableau III. 5 : Différences brutes de la variable ANB entre les deux séries de mesures.

1.2.1.2. Mesures sur téléradiographie frontale

Les CCC élevés (Tableau III.6) montrent la bonne répétabilité de la méthode de mesure. Les valeurs maximales des différences absolues pour chaque mesure sont très inférieures aux écart-types.

Variables	Moyenne 1	Moyenne 2	Moyenne des Ecart-Types	Moyenne des valeurs absolues des différences	Valeur absolue maximale des différences	CCC
Larg Go (mm)	89.70	89.70	4.70	0.45	1.40	0.992
Larg Zy (mm)	123.39	123.01	3.95	0.60	2.10	0.977
ENA- Me (mm)	111.23	111.09	8.74	0.55	1.30	0.997

Tableau III. 6 : CCC entre deux séries intra-observateur des mesures de typologie frontale

1.2.2. Position de l'os hyoïde

Les résultats des tests de fiabilité pour les mesures de position de l'os hyoïde sont présentés dans le tableau III.7.

Variables	Moyenne 1	Moyenne 2	Moyenne des Ecart-Types	Moyenne des valeurs absolues des différences	Valeur absolue maximale des différences	CCC
Hy-Man (mm)	18.05	17.24	4.32	0.91	1.90	0.967
Hy-Go (mm)	24.67	24.14	6.25	1.74	3.30	0.980
Hy-Gn (mm)	47.22	46.86	5.38	0.80	2.40	0.978
Hy-Rgn (mm)	41.03	41.32	4.40	0.67	2.50	0.971
Hy-plan Po (mm)	35.99	36.77	9.13	1.83	4.00	0.974
Hy-Fr (mm)	84.86	84.97	9.01	0.85	1.80	0.993
Hy-C3 hor (mm)	33.42	33.53	5.10	0.78	2.41	0.980
Hy- C3 vert (mm)	7.37	6.91	6.59	1.43	4.10	0.959

Tableau III. 7 : CCC entre deux séries intra-observateur des mesures de position de l'os hyoïde

2. Dimensions et morphologie de l'os hyoïde

2.1. Caractéristiques dimensionnelles

2.1.1. Analyse descriptive

Les moyennes et écart-types, les valeurs minimales et maximales des mesures de l'os hyoïde des 94 enfants et 83 adultes sont présentés dans le tableau III.8.

Variables	Moyenne ± Ecart type		Dispersion	
	Enfants (n = 94)	Adultes (n = 83)	Enfants (n = 94)	Adultes (n = 83)
Larg totale (mm)	37.1 ± 4.6	39.3 ± 5.8	25.2 – 51.1	28.3 – 53.7
Larg ant (mm)	19.2 ± 2.0	18.9 ± 2.4	14.8 – 23.8	12.8 – 24.8
Larg ant Pr (mm)	19.2 ± 2.0	18.9 ± 2.3	14.7 – 23.7	12.8 – 24.8
Long totale (mm)	29.0 ± 3.7	32.7 ± 3.4	18.7 – 37.8	26.2 – 43.3
Long lat d (mm)	34.6 ± 3.4	38.4 ± 3.5	27.2 – 43.7	31.8 – 50.6
Long lat g (mm)	34.2 ± 3.5	38.1 ± 3.6	25.9 – 43.3	30.3 – 48.2
Long GCd (mm)	22.2 ± 3.6	26.0 ± 2.8	14.1 – 36.8	19.6 – 34.3
Long GCg (mm)	22.4 ± 3.6	25.8 ± 2.8	15.0 – 38.9	18.5 – 33.9
Long ant (mm)	9.1 ± 1.6	9.1 ± 1.4	5.8 – 12.7	6.3 – 12.8

Tableau III. 8 : Analyse descriptive des dimensions de l'os hyoïde

2.1.2. Influence des paramètres biologiques

2.1.2.1. Influence du sexe et de la population

2.1.2.1.1. Chez les enfants

a. Différences liées au sexe dans l'échantillon total

La comparaison des dimensions de l'os hyoïde des 52 filles et des 42 garçons dans l'échantillon total ne révèle qu'une seule différence significative. Elle concerne la longueur antérieure. Les garçons ont donc le point le plus antérieur du corps de l'os hyoïde significativement plus distant des extrémités antérieures des grandes cornes (Tableau III.9).

Variables	Moyenne ± Ecart type		Dispersion		p test de Wilcoxon
	Filles n = 52	Garçons n = 42	Filles n = 52	Garçons n = 42	
Larg totale (mm)	36.6 ± 4.6	37.6 ± 4.6	25.2 – 47.6	29.4 – 51.1	0.341
Lar ant (mm)	18.9 ± 1.9	19.6 ± 2.0	14.8 – 22.4	16.2 – 23.8	0.073
Lar ant Pr (mm)	18.8 ± 1.9	19.6 ± 2.0	14.7 – 22.4	16.1 – 23.7	0.057
Long totale (mm)	28.4 ± 2.9	29.7 ± 4.3	22.0 – 34.4	18.1 – 37.8	0.085
Long lat d (mm)	34.1 ± 2.8	35.3 ± 4.1	27.8 – 39.1	27.2 – 43.7	0.081
Long lat g (mm)	33.6 ± 2.7	35.0 ± 4.2	27.9 – 39.5	25.9 – 43.3	0.056
Long GCd (mm)	22.2 ± 3.0	22.1 ± 4.2	16.4 – 27.9	14.1 – 36.8	0.935
Long GCg (mm)	22.2 ± 2.8	22.6 ± 4.5	15.4 – 27.9	15.0 – 38.9	0.575
Long ant (mm)	8.5 ± 1.3	9.9 ± 1.7	5.8 – 11.1	5.9 – 12.7	< 0.001

Tableau III. 9 : Différences entre sexes chez les enfants (échantillon total)

b. Différence liées au sexe dans chaque population

Pour affiner ces résultats, une analyse dans chaque population (60 enfants français, 34 enfants vietnamiens) est menée. La population française montre, comme dans l'échantillon total, une absence de différence entre filles et garçons pour toutes les dimensions de l'os hyoïde, à l'exception de la longueur antérieure (Tableau III.10). Cette différence n'est en revanche pas retrouvée dans la population vietnamienne. Dans la comparaison des filles et garçons vietnamiens, la largeur entre les extrémités antérieures des grandes cornes est significativement plus grande chez les derniers (Tableau III.11). Cette différence n'apparaît pas dans l'échantillon total à cause du nombre réduit de sujets vietnamiens.

Variables	Moyenne ± Ecart type		Dispersion		p test de Wilcoxon
	Filles (n = 33)	Garçons (n = 27)	Filles (n = 33)	Garçons (n = 27)	
Larg totale (mm)	36.6 ± 4.6	36.5 ± 3.6	25.2 – 46.8	29.4 – 44.5	0.876
Larg ant (mm)	19.4 ± 1.9	19.7 ± 2.0	15.7 – 22.4	16.3 – 23.8	0.791
Larg ant Pr (mm)	19.4 ± 1.9	19.7 ± 2.0	15.7 – 22.4	16.3 – 23.7	0.723
Long totale (mm)	28.1 ± 3.3	29.7 ± 4.2	22.0 – 34.4	18.7 – 37.8	0.099
Long lat d (mm)	33.7 ± 2.9	35.2 ± 3.7	27.8 – 39.1	27.2 – 42.5	0.142
Long lat g (mm)	33.6 ± 2.7	34.7 ± 3.8	28.9 – 38.4	25.9 – 42.1	0.208
Long GCd (mm)	21.9 ± 3.1	22.0 ± 4.3	16.40 – 27.9	14.1 – 36.8	0.778
Long GCg (mm)	21.9 ± 2.9	22.2 ± 4.5	15.4 – 27.2	15.0 – 38.9	0.864
Long ant (mm)	8.4 ± 1.3	10.1 ± 1.7	6.5 – 11.1	6.2 – 12.7	< 0.001

Tableau III. 10 : Différences entre sexes des dimensions de l'os hyoïde chez les enfants français

Variables	Moyenne ± Ecart type		Dispersion		p test de Wilcoxon
	Filles (n = 19)	Garçons (n = 15)	Filles (n = 19)	Garçons (n = 15)	
Larg totale (mm)	36.7 ± 4.8	39.5 ± 5.6	26.7 – 47.6	32.4 – 51.1	0.167
Larg ant (mm)	17.9 ± 1.7	19.5 ± 2.1	14.8 – 22.1	16.2 – 23.4	0.023
Larg ant Pr (mm)	17.8 ± 1.6	19.5 ± 2.6	14.7 – 21.5	16.1 – 23.2	0.017
Long totale (mm)	29.0 ± 2.0	29.9 ± 4.6	26.1 – 32.3	24.0 – 36.9	0.811
Long lat d (mm)	34.6 ± 2.6	35.5 ± 4.8	29.2 – 39.0	28.9 – 43.7	0.758
Long lat g (mm)	33.8 ± 2.9	35.6 ± 4.7	27.9 – 39.5	29.9 – 43.3	0.515
Long GCd (mm)	22.7 ± 2.9	22.3 ± 4.2	18.0 – 27.6	16.0 – 30.0	0.835
Long GCg (mm)	22.5 ± 2.6	23.2 ± 4.5	18.2 – 27.9	15.4 – 33.0	0.784
Long ant (mm)	8.6 ± 1.2	9.5 ± 1.8	5.8 – 10.5	5.9 – 12.4	0.147

Tableau III. 11 : Différences entre sexes des dimensions de l'os hyoïde chez les enfants vietnamiens

En conclusion, une absence de dimorphisme sexuel des dimensions de l'os hyoïde chez les enfants est observée. Une différence apparaît dans l'échantillon d'enfants français concernant le corps de l'os hyoïde, dont le point le plus antérieur est situé plus en avant chez les garçons, figurant un corps plus convexe dans le sens antéro-postérieur. Dans l'échantillon d'enfants vietnamiens, une largeur plus grande des extrémités antérieures des grandes cornes chez les garçons se remarque.

2.1.2.1.2. Chez les adultes

a. Différences liées au sexe dans l'échantillon total

Les différences sont significatives pour toutes les mesures de longueur et de largeur de l'os hyoïde (Tableau III.12). En général, dans l'échantillon d'adultes total, les hommes ont des os hyoïdes plus longs et plus larges.

Variables	Moyenne ± Ecart type		Dispersion		p test de Wilcoxon
	Femmes n = 59	Hommes n = 24	Femmes n = 59	Hommes n = 24	
Larg totale (mm)	38.0 ± 5.2	42.6 ± 6.1	28.3 — 48.1	33.5 — 53.7	0.001
Larg ant (mm)	18.2 ± 1.9	20.8 ± 2.2	12.8 — 23.7	16.3 — 24.8	< 0.001
Larg ant Pr (mm)	18.1 ± 1.9	20.8 ± 2.2	12.8 — 23.7	16.3 — 24.8	< 0.001
Long totale (mm)	31.8 ± 2.7	35.0 ± 3.8	26.2 — 39.2	26.3 — 43.3	< 0.001
Long lat d (mm)	37.4 ± 2.8	40.9 ± 4.1	31.8 — 44.1	32.1 — 50.6	< 0.001
Long lat g (mm)	37.0 ± 2.5	40.8 ± 4.4	31.8 — 42.9	30.3 — 48.2	< 0.001
Long GCd (mm)	25.5 ± 2.3	27.4 ± 3.5	20.1 — 30.6	19.6 — 34.3	0.004
Long GCg (mm)	25.3 ± 2.1	27.3 ± 3.8	20.6 — 29.3	18.5 — 33.9	0.003
Long ant (mm)	8.7 ± 1.1	10.1 ± 1.4	6.3 — 11.7	7.5 — 12.8	< 0.001

Tableau III. 12 : Différences entre sexes des dimensions de l'os hyoïde chez les adultes : échantillon total

b. Différences liées au sexe chez les adultes au sein de chaque population

Le résultat de l'étude du dimorphisme sexuel des dimensions de l'os hyoïde chez les adultes de chaque population est rapporté dans les tableaux III.13 (adultes français) et III.14 (adultes vietnamiens).

Variables	Moyenne ± Ecart type		Dispersion		p test de Wilcoxon
	Femmes (n = 34)	Hommes (n = 16)	Femmes	Hommes	
Larg totale (mm)	39.5 ± 5.2	42.0 ± 5.6	28.3 — 48.1	34.0 — 48.8	0.167
Larg ant (mm)	18.5 ± 2.1	20.4 ± 2.4	12.8 — 23.7	16.3 — 23.8	0.011
Larg ant Pr (mm)	18.5 ± 2.1	20.3 ± 2.3	12.8 — 23.7	16.3 — 23.6	0.014
Long totale (mm)	30.8 ± 2.7	35.2 ± 4.5	26.2 — 37.2	26.3 — 43.3	0.001
Long lat d (mm)	37.0 ± 2.7	40.8 ± 4.9	31.8 — 43.8	32.1 — 50.6	0.009
Long lat g (mm)	36.4 ± 2.5	40.5 ± 5.3	32.7 — 40.6	30.3 — 48.2	0.003
Long GCd (mm)	25.2 ± 2.5	26.9 ± 4.1	20.1 — 30.6	19.59 — 34.3	0.130
Long GCg (mm)	24.7 ± 2.3	27.0 ± 4.1	20.6 — 29.3	18.5 — 33.9	0.028
Long ant (mm)	8.4 ± 1.2	10.4 ± 1.2	6.3 — 11.7	8.43 — 12.8	< 0.001

Tableau III. 13 : Différences entre sexes des dimensions de l'os hyoïdes chez les adultes : échantillon de population française

Variables	Moyen ± Ecart type		Dispersion		p test de Wilcoxon
	Femmes (n = 25)	Hommes (n = 8)	Femmes	Hommes	
Larg totale (mm)	36.3 ± 4.8	43.7 ± 7.2	29.5 — 44.9	33.5 — 53.7	0.01
Larg ant (mm)	17.6 ± 1.6	21.6 ± 1.9	14.9 — 20.5	18.9 — 24.8	< 0.001
Larg ant Pr (mm)	17.5 ± 1.6	21.6 ± 1.9	14.8 — 20.5	18.9 — 24.8	< 0.001
Long totale (mm)	32.7 ± 2.4	34.7 ± 2.0	28.1 — 39.2	31.7 — 38.0	0.028
Long lat d (mm)	37.5 ± 2.6	41.1 ± 1.7	33.4 — 44.1	37.8 — 43.2	< 0.001
Long lat g (mm)	37.5 ± 2.7	41.3 ± 2.0	31.8 — 42.9	39.1 — 45.6	< 0.001
Long GCd (mm)	25.6 ± 2.1	28.3 ± 1.7	22.6 — 30.4	24.6 — 30.4	0.004
Long GCg (mm)	25.8 ± 1.9	28.0 ± 2.7	21.6 — 29.1	24.1 — 33.0	0.032
Long ant (mm)	9.0 ± 0.96	9.5 ± 1.5	7.5 — 11.1	7.5 — 11.9	0.42

Tableau III. 14 : Différences entre sexes des dimensions de l'os hyoïdes chez les adultes : échantillon de population vietnamienne

Quelques observations peuvent être déduites pour chaque population. Chez les français, la différence entre hommes et femmes est plus forte pour les variables de longueur, mais elle n'est pas significative au niveau de la largeur totale. La longueur totale est significativement plus grande chez les hommes ($p < 0.001$), ceci est dû d'une part aux plus grandes longueurs des grandes cornes et d'autre part à la position très antérieure du point le plus antérieur du corps de l'os hyoïde (Tableau III.13).

En revanche, chez les adultes vietnamiens, la position du point le plus antérieur du corps n'est pas différente entre hommes et femmes, mais la longueur des grandes cornes diffère nettement ($p < 0.005$). Les largeurs antérieure ou postérieure sont significativement plus grandes chez les hommes vietnamiens (Tableau III.14).

Ces observations laissent supposer des différences de dimensions de l'os hyoïde entre les adultes des deux populations.

c . Différences des dimensions de l'os hyoïde dans les deux populations

Les moyennes et les p du test de Wilcoxon de comparaison entre les Français et les Vietnamiens (sexes confondus et échantillons par sexes séparés) sont rapportés dans le tableau III.15.

Tous sexes confondus, les adultes français ont des largeurs plus grandes et une longueur plus courte que les adultes vietnamiens, mais les différences ne sont pas significatives. Quand nous comparons les deux populations par sexe, nous notons que ces différences sont significativement présentes entre les femmes, mais elles ne le sont pas entre les hommes des deux échantillons. Les femmes françaises ont un os hyoïde significativement plus large, et plus court. Les longueurs des grandes cornes ne sont pas significativement différentes entre les femmes des deux populations, mais la longueur antérieure est significativement plus petite chez les Françaises.

	Femmes			Hommes			Échantillon total		
	Moyenne Fr	Moyenne V	p Fr/V	Moyenne Fr	Moyenne V	p Fr/V	Moyenne Fr	Moyenne V	p Fr/V
Larg totale	39.45	36.30	0.030	42.0	43.7	0.61	40.31	38.08	0.067
Larg ant	18.50	17.60	0.050	20.4	21.6	0.264	19.14	18.58	0.197
Larg ant Pr	18.45	17.53	0.045	20.3	21.6	0.264	19.08	18.51	0.191
Long totale	30.77	32.68	0.006	35.2	34.7	0.528	32.25	33.17	0.086
Long lat d	37.04	37.52	0.560	40.8	41.1	0.742	38.29	38.39	0.609
Long lat g	36.35	37.50	0.111	40.5	41.3	0.976	37.73	38.42	0.201
Long GCd	25.24	25.64	0.780	26.9	28.3	0.528	25.81	26.27	0.477
Long GCg	24.73	25.78	0.090	27.0	28.0	0.713	25.48	26.32	0.163
Long ant	8.36	8.96	0.026	10.4	9.5	0.093	9.05	9.09	0.729

Tableau III. 15 : Comparaison des dimensions de l'os hyoïde entre adultes français et vietnamiens

Les figures III.7 et III.8 sont des *boxplots* qui présentent les moyennes pour les variables de largeur, de longueur de l'os hyoïde des hommes et femmes, français et vietnamiens. Ils illustrent bien la différence significative entre les femmes des deux populations, avec une largeur plus grande et une longueur plus petite chez les françaises.

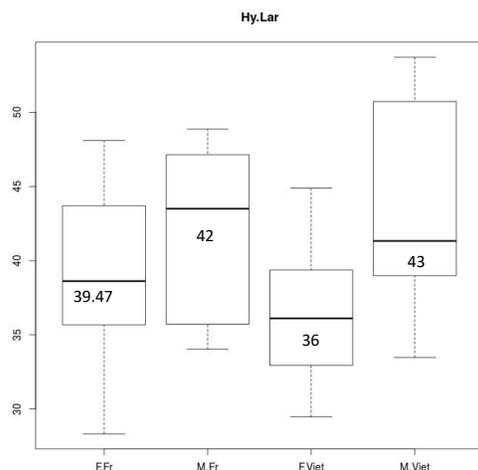


Figure III. 7 : "Boxplot" de largeur totale de l'os hyoïde des hommes et des femmes français et vietnamiens

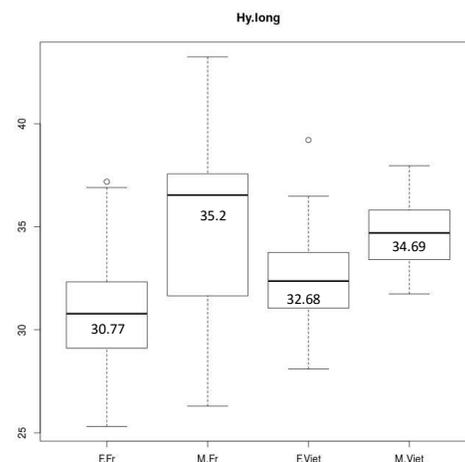


Figure III. 8 : "Boxplot" de longueur totale de l'os hyoïde des hommes et des femmes français et vietnamiens

2.1.2.2. Influence de l'âge

Notre analyse des modifications dimensionnelles de l'os hyoïde avec l'âge comprend :

- l'évaluation des modifications dimensionnelles de l'os hyoïde pendant la période du jeune enfant à l'adolescent ([7 à 16 ans]),
- l'évaluation des modifications dimensionnelles totales entre enfants et adultes,
- l'évaluation des modifications liées à la maturation à l'âge adulte.

2.1.2.2.1. Modifications dimensionnelles de l'os hyoïde de l'enfant à l'adolescent

Le nombre d'individus n'est pas suffisamment grand pour réaliser des statistiques fiables en divisant l'échantillon par tranche de 1 an. Nous avons donc fait des regroupements pour analyser les modifications dimensionnelles de l'os hyoïde en constituant 4 groupes :

- T1 : un groupe de sujets dont l'âge est supérieur ou égal à 7 ans et inférieur à 11 ans ([7ans - [11ans) - âge auquel la puberté n'est pas apparue dans la plupart des cas (Taranger et Hägg 1980, Cousminer *et al.* 2013) ;
- T2 : un groupe de sujets dont l'âge est supérieur ou égal à 11 ans et inférieur à 13 ans ([11 ans - [13 ans) ;
- T3 : un groupe de sujets dont l'âge est supérieur ou égal à 13 ans et inférieur à 15 ans ([13 ans - [15 ans) ;
- T4 : un groupe de sujets dont l'âge est supérieur ou égal à 15 ans et égal à 16 ans ([15 ans - 16 ans]) (âge considéré comme post-pubertaire (Taranger et Hägg 1980, Cousminer *et al.* 2013).

- Le terme enfant désigne les enfants de 7 à 16 ans dans cet échantillon.

- Le terme adulte désigne les sujets dont l'âge est supérieur ou égal à 20 ans dans cet échantillon.

La répartition des enfants dans ces groupes d'âge est présentée dans le graphique de la figure III.9. Il y a plus de filles que de garçons dans les groupes d'âge de T3 ([13 -15 ans]) et T4 ([15 -16 ans]) (Figure III.9a). La répartition est très différente entre les deux populations, avec une majorité d'enfants dont l'âge est supérieur ou égal à 13 ans dans l'échantillon français et une majorité d'enfants âgé de moins de 13 ans dans l'échantillon vietnamien (Figure III.9b).

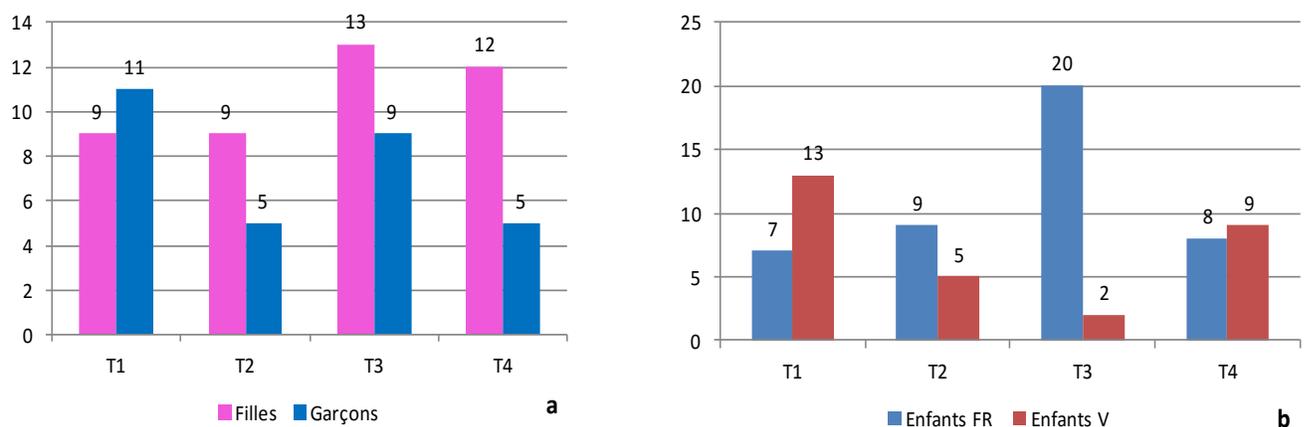


Figure III. 9 : Répartition des enfants de 7-16 ans par groupe d'âge et par sexe (a) ou par population(b).

La moyenne et l'écart type, la dispersion des valeurs des dimensions dans chaque groupe d'âge sont présentés dans le tableau III.16.

Groupe d'âge		T1 (n = 21)	T2 (n = 16)	T3 (n = 31)	T4 (n = 26)
Larg totale (mm)	<i>M ± Ecart-type</i>	34.9 ± 4.2	38.4 ± 3.8	35.8 ± 3.7	39.4 ± 5.2
	<i>Dispersion</i>	25.2 – 42	29.8 – 43.3	25.7 – 42.8	32.2 – 51.1
Larg ant (mm)	<i>M ± Ecart-type</i>	17.8 ± 1.2	19.0 ± 1.5	19.3 ± 2.1	20.3 ± 2.1
	<i>Dispersion</i>	16.1 – 20.9	16.4 – 22.4	14.8 – 23.8	15.5 – 23.6
Larg ant Pr (mm)	<i>M ± Ecart-type</i>	17.8 ± 1.2	18.9 ± 1.5	19.3 ± 2.0	20.2 ± 2.1
	<i>Dispersion</i>	16.1 – 20.9	16.4 – 22.3	14.7 – 23.7	15.4 – 23.6
Long totale (mm)	<i>M ± Ecart-type</i>	27.1 ± 3.9	27.1 ± 2.1	29.3 ± 3.1	31.4 ± 3.5
	<i>Dispersion</i>	18.7 – 35.6	24.6 – 31.0	24.0 – 36.6	25.4 – 37.8
Long lat d (mm)	<i>M ± Ecart-type</i>	32.3 ± 2.8	33.2 ± 1.9	34.8 ± 3.0	37.2 ± 3.5
	<i>Dispersion</i>	27.2 – 36.6	30.1 – 36.6	28.7 – 42.4	29.9 – 43.7
Long lat g (mm)	<i>M ± Ecart-type</i>	31.6 ± 2.5	33.2 ± 2.1	34.2 ± 2.9	37.1 ± 3.7
	<i>Dispersion</i>	25.9 – 36.0	30.0 – 38.0	28.9 – 42.1	31.5 – 43.3
Long GCd (mm)	<i>M ± Ecart-type</i>	19.6 ± 2.3	21.0 ± 2.7	22.3 ± 3.0	24.8 ± 3.8
	<i>Dispersion</i>	16.0 – 24.6	17.8 – 26.4	14.1 – 27.7	17.4 – 36.8
Long GCg (mm)	<i>M ± Ecart-type</i>	19.9 ± 2.5	21.3 ± 2.5	22.2 ± 2.8	25.1 ± 4.2
	<i>Dispersion</i>	15.4 – 23.7	18.5 – 27.0	15.0 – 27.4	17.7 – 38.9
Long ant (mm)	<i>M ± Ecart-type</i>	9.3 ± 1.3	8.6 ± 1.2	9.1 ± 1.5	9.4 ± 2.2
	<i>Dispersion</i>	6.2 – 11.1	5.9 – 10.5	6.8 – 12.2	5.8 – 12.7

Tableau III. 16 : Analyse descriptif des dimensions de l'os hyoïde chez les enfants de 7 à 16 ans par groupes d'âges.

On observe une augmentation régulière de l'ensemble des variables entre 7 et 16 ans, confirmée par les courbes de tendance des nuages de points dans l'échantillon total d'enfants (Figures III.10, III.11).

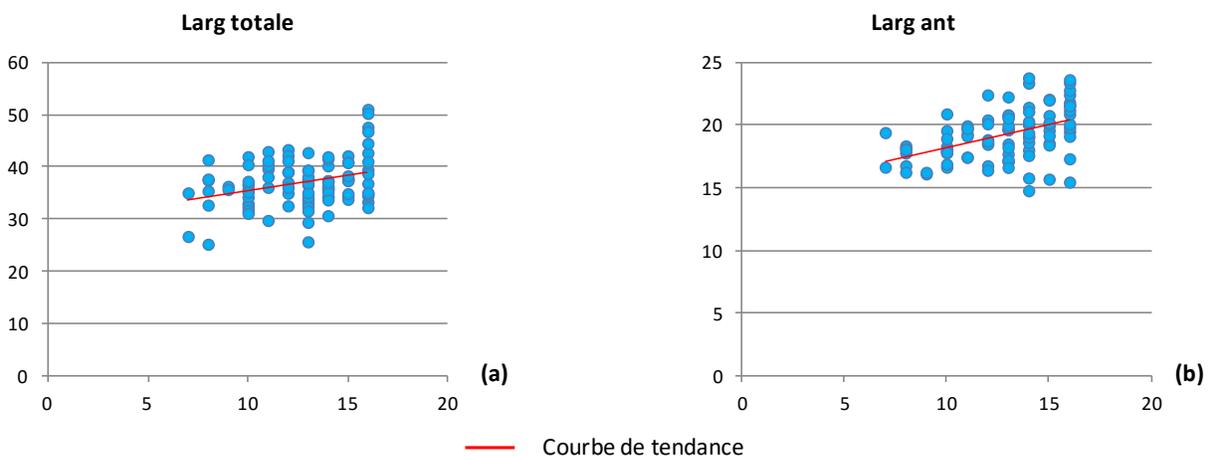


Figure III. 10 : Graphiques des modifications des largeur totale (a) et antérieure (b) de 7 à 16 ans

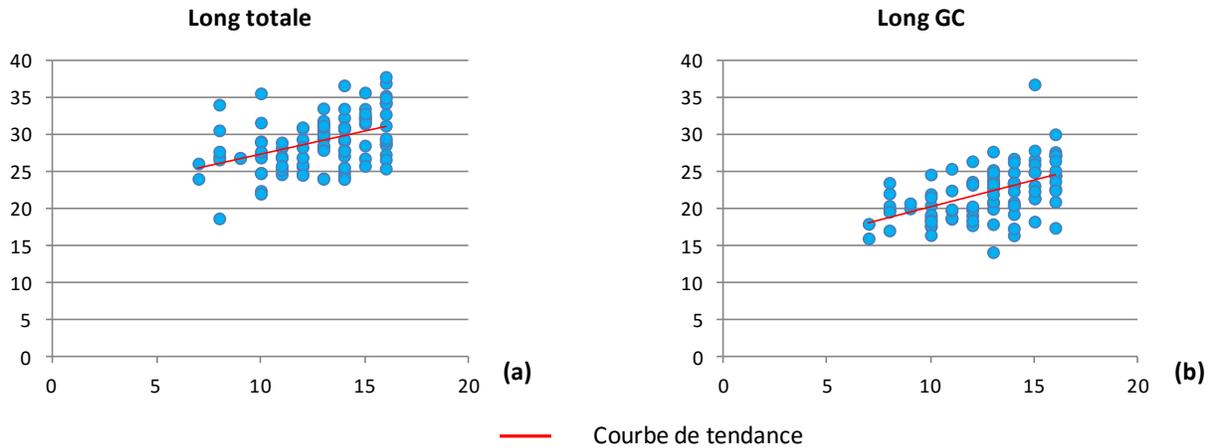


Figure III. 11 : Graphiques des modifications des longueur totale (a) et longueur antérieure (b) de 7 à 16 ans

Les moyennes des variables sont calculées dans chaque sous-groupe complet sans distinction de sexe et de population. Les comparaisons des groupes et les pourcentages d'évolution des variables entre chaque groupe sont présentés dans le tableau III.17 et la figure III.12.

	Entre T1 (n= 21) et T2 (n=16)		Entre T2 (n=16) et T3 (n=31)		Entre T3 (n=31) et T4 (n=26)		Entre T4 (n=26) et T1 (n= 21)	
	$\frac{T2-T1}{T1}$ (%)	<i>p</i>	$\frac{T3-T2}{T2}$ (%)	<i>p</i>	$\frac{T4-T3}{T3}$ (%)	<i>p</i>	$\frac{T4-T1}{T1}$ (%)	<i>p</i>
Larg totale	9.8%	0.014	-6.5%	0.034	10.0%	0.004	12.9%	0.015
Larg ant	6.3%	0.017	1.9%	0.541	4.9%	0.090	13.7%	< 0.001
Larg ant Pr	6.3%	0.017	1.7%	0.576	4.9%	0.089	13.4%	< 0.001
Long totale	0.0%	0.997	8.1%	0.014	7.0%	0.022	15.7%	0.006
Long lat d	2.7%	0.296	4.8%	0.059	6.9%	0.007	15.0%	< 0.001
Long lat g	5.0%	0.046	2.8%	0.255	8.6%	0.001	17.3%	< 0.001
Long GCd	6.8%	0.110	6.1%	0.163	11.5%	0.007	26.3%	< 0.001
Long GCg	6.8%	0.111	4.3%	0.271	12.8%	0.003	25.7%	< 0.001
Long ant	-7.2%	0.118	5.0%	0.330	3.3%	0.549	0.6%	0.581

Tableau III. 17 : Modifications des dimensions entre les groupes d'âge chez les enfants

La largeur totale, comme la largeur antérieure, augmente de 13 % entre le groupe T1 (de moins de 11 ans) et le groupe T4 (de [15-16 ans]). Cette augmentation s'opère précocement : une différence de 10 % est en effet observée entre le groupe T1 (moins de 11 ans) et le groupe T2 (de [11-13 ans]). La largeur antérieure présente un accroissement régulier. La largeur totale dans le groupe T3 (des enfants de [13-15 ans]) n'est pas différente de celle des enfants de T1 (voire plus petite), puis elle augmente significativement dans le groupe T4 ([15-16 ans]).

En revanche, les variables de longueur (longueur totale, longueurs latérales, longueurs des grandes cornes) augmentent plus tard que la largeur.

- Pour la longueur totale, il n'y a pas de différence entre les enfants du groupe T2 et les enfants du groupe T1. Entre T2 et T3, l'augmentation est de 8 % et entre T3 et T4 de 7 %, pour atteindre une différence totale de 15 % entre les adolescents ([15 - 16 ans] par rapport aux enfants de moins de 11 ans.
- Pour les grandes cornes, des différences de taille significatives ne sont observées que plus tard, entre le groupe T3 et le groupe T4 (augmentation moyenne de 12 %). La modification de longueur des grandes cornes est la plus importante des dimensions de l'os hyoïde.
- La longueur antérieure ne varie pas significativement au cours de la croissance.

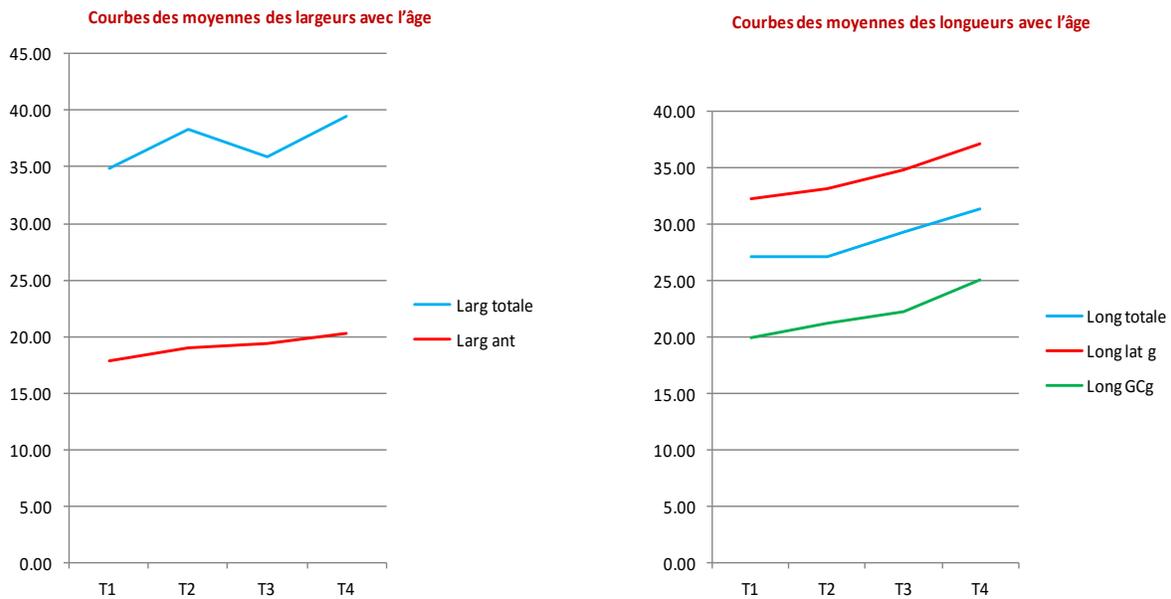


Figure III. 12 : Courbes des moyennes des variables de largeur et de longueur en fonction des groupes d'âge

2.1.2.2.2. Interactions entre âge et sexe

Les différences entre sexes observées chez les adultes mais pas chez les enfants suggèrent une modification de taille différente selon le sexe au cours de la croissance. La comparaison entre sexes dans les quatre sous-groupes d'âge est résumée dans le tableau III.18 (à noter le nombre limité de 6 garçons dans le sous-groupe de [11-13 ans]).

	Groupe T1		Groupe T2		Groupe T3		Groupe T4	
	Filles n = 10	Garçons n = 11	Filles n = 10	Garçons n = 6	Filles n = 18	Garçons n = 13	Filles n = 14	Garçons n = 12
Larg totale	34.12	35.64	37.37	39.99	35.93	35.73	38.85	40.08
Larg ant	17.75	17.93	18.92	19.06	18.96	19.85	19.52*	21.17*
Larg ant Pr	17.71	17.94	18.89	19.04	18.89	19.80	19.43*	21.14*
Long totale	26.95	27.27	27.79	26.00	29.01	29.75	29.23 (4*)	33.86 (4*)
Long lat d	32.08	32.55	33.39	32.85	34.58	35.06	35.31 (3*)	39.37 (3*)
Long lat g	31.41	31.86	33.48	32.83	33.94	34.48	34.91 (3*)	39.50 (3*)
Long GCd	19.60	19.66	21.47	20.14	22.67	21.67	23.91	25.85
Long GCg	19.86	20.02	21.45	21.07	22.47	21.89	23.90	26.44
Long ant	9.14	9.42	8.70	8.49	8.58*	9.71*	7.79 (4*)	11.17 (4*)

Tableau III. 18 : Comparaison entre sexes des dimensions de l'os hyoïde dans chaque groupe d'âge.
(F : Filles; G: Garçons) ; * : $p < 0.05$; 2* : $p < 0.01$; 3* : $p < 0.005$; 4* : $p < 0.001$

Il n'existe pas de différence entre les dimensions de l'os hyoïde des filles et des garçons jusqu'à 14 ans. À [13-15 ans], seule la longueur antérieure est significativement plus grande chez les garçons. À [15-16 ans] des différences apparaissent significatives entre filles et garçons pour la largeur antérieure, la longueur totale ou les longueurs latérales. La longueur des grandes cornes et la largeur totale de l'os hyoïde ne sont en revanche pas significativement différentes entre les deux sexes à cet âge. Ces modifications dimensionnelles semblent donc liées à la croissance pubertaire.

L'analyse de covariance (ANCOVA) permet d'évaluer parallèlement l'influence des facteurs âge et sexe sur les dimensions de l'os hyoïde et complète les observations précédentes. Chaque graphique ANCOVA présente la droite de régression en fonction de l'âge pour chaque sexe, le p « global » sur les pentes et les ordonnées à l'origine de l'influence du sexe sur le lien entre les différentes dimensions et l'âge, et le p « pente » pour l'influence du sexe sur les pentes des droites de régression. De plus, ces analyses de co-variance sont réalisées dans chaque échantillon français et vietnamien afin de les comparer.

a. ANCOVA des variables de largeur

* La largeur totale

Les droites de régression de la largeur totale de l'os hyoïde de [7 à 16 ans] (Figure III.13) montrent une direction de changement avec l'âge très similaire entre garçons et filles, que ce soit dans la population française ou vietnamienne.

Dans la population française, les valeurs de la largeur totale sont très proches entre filles et garçons, on peut noter un léger accroissement des deux modèles vers 12 ans, avec les valeurs chez les filles dépassant celles des garçons. En revanche, dans la population vietnamienne, les deux modèles sont parallèles mais les valeurs sont plus importantes chez les garçons que chez les filles. Elles sont par ailleurs également plus importantes chez les garçons vietnamiens si on compare entre les garçons des deux populations.

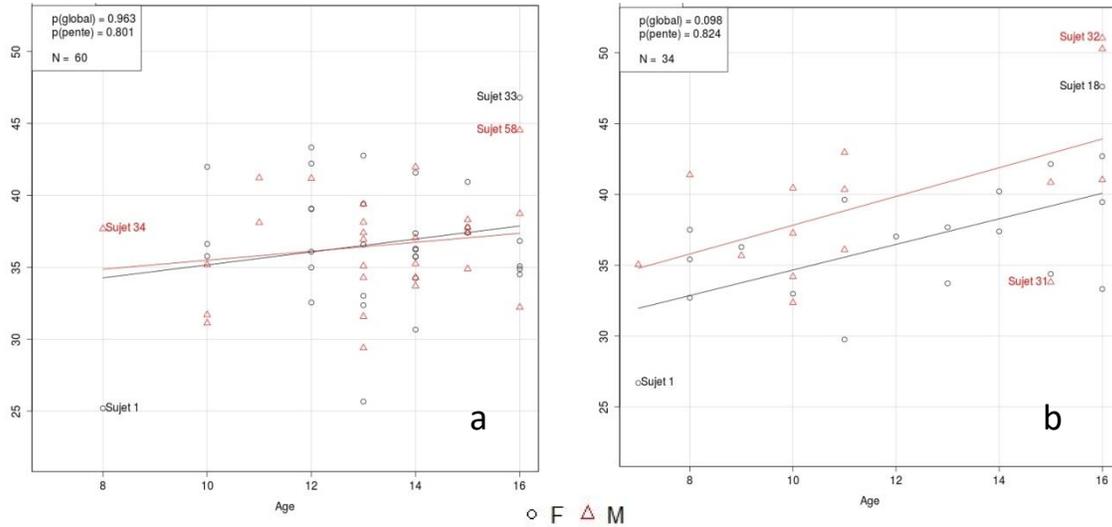


Figure III. 13 : ANCOVA de la variable Largeur totale de l'os hyoïde :
 a: chez les enfants français, b: chez les enfants vietnamiens

* La largeur antérieure

L'évolution dimensionnelle de [7 à 16 ans] de la largeur antérieure des grandes cornes n'est pas significativement différente entre garçons et filles français (Figure III.14a), nous observons cependant une augmentation avec l'âge plus importante chez les garçons. En revanche, entre filles et garçons vietnamiens, la différence est significative (p global = 0.003). Cette différence est liée à une augmentation de taille plus importante chez les garçons vietnamiens, la droite de régression des garçons vietnamiens s'écarte précocement de celle des filles (Figure III.14b, p 117).

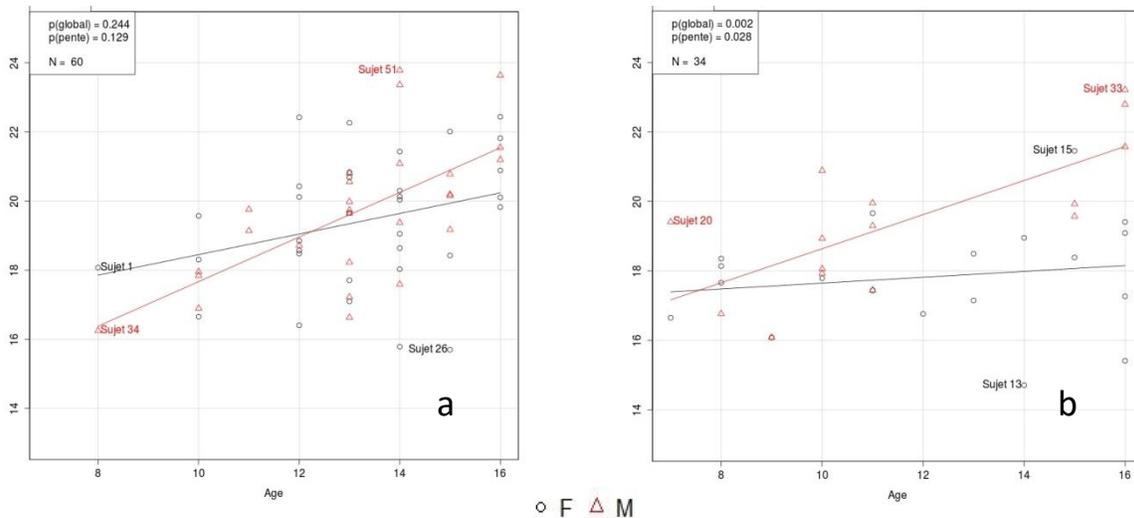


Figure III. 14 : ANCOVA de la variable Largeur antérieure de l'os hyoïde :
 a: chez les enfants français, b: chez les enfants vietnamiens

b. ANCOVA des variables de longueur

* La longueur totale

La modification de la longueur totale de l'os hyoïde de [7 à 16 ans] est significativement différente entre filles et garçons dans chaque population (Figure III.15), les jeunes garçons ont une longueur plus faible, mais une augmentation de taille plus importante leur permettant d'atteindre, à 16 ans, une longueur significativement plus grande (p pente = 0.006 (Français) et 0.005 (Vietnamiens)).

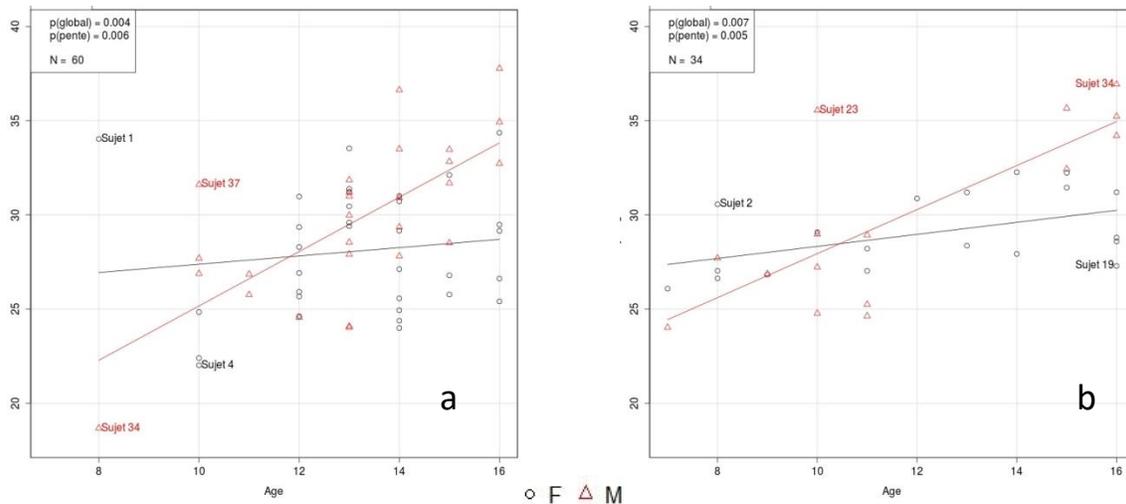


Figure III. 15 : ANCOVA de la variable Longueur totale de l'os hyoïde :
 a : chez les enfants français, b: chez les enfants vietnamiens

* Longueur des grandes cornes

Dans les deux populations, l'augmentation de longueur des grandes cornes de [7 à 16 ans] est plus importante chez les garçons mais cette différence n'est pas significative (Figure III.16). Nous remarquons qu'à partir de l'âge de 13 ans pour les enfants français (Figure III.16a) et 12 ans pour les enfants vietnamiens (Figure III.16b), les longueurs des grandes cornes chez les garçons dépassent celles des filles.

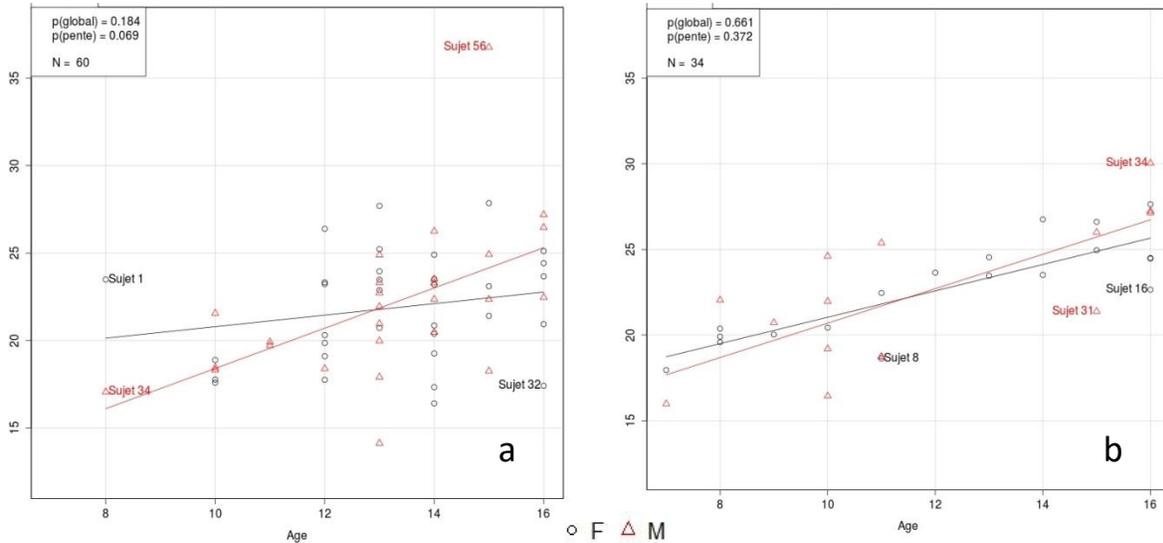


Figure III. 16 : ANCOVA de la variable Longueur des grandes cornes :
 a : chez les enfants français, b : chez les enfants vietnamiens

***La longueur antérieure**

La longueur antérieure présente des modifications significativement différentes entre filles et garçons dans les deux populations (Figure III.17, p. 119). Chez les garçons, elle augmente tandis que chez les filles, elle diminue.

La longueur antérieure sera diminuée en cas de rapprochement des grandes cornes du corps sans modification associée de la position du point antérieur du corps de l'os hyoïde, c'est ce qui se passe chez les filles de [7 à 16 ans]. En revanche, chez les garçons, cette longueur augmente et traduisant une modification au niveau du corps de l'os hyoïde.

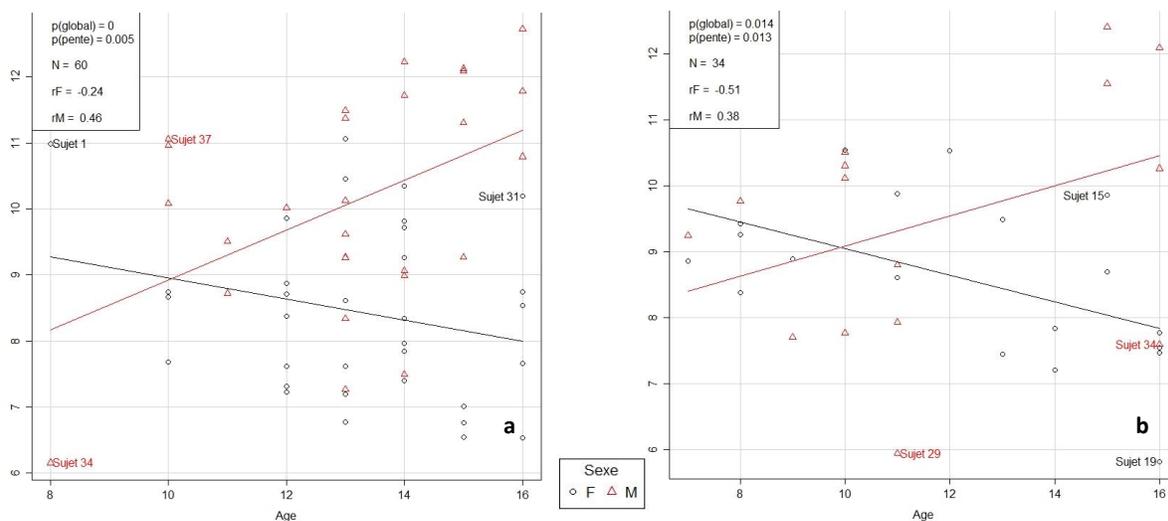


Figure III. 17 : ANCOVA de la variable de Longueur antérieure de l'os hyoïde :
 a : chez les enfants français, b : chez les enfants vietnamiens

2.1.2.2.3. Comparaison de l'évolution dimensionnelle de l'os hyoïde des enfants français et vietnamiens.

La comparaison de l'évolution dimensionnelle de l'os hyoïde des enfants des deux populations française et vietnamienne comprend :

- une comparaison des moyennes par groupes d'âge
- une comparaison par couple des ANCOVA pour chaque variable

a. Comparaison des valeurs par groupes d'âge

Les tableaux III.19, III.20 et III.21 rapportent les valeurs moyennes des dimensions de l'os hyoïde dans les deux populations par groupe d'âge, dans l'échantillon global ou par sexe. Une largeur totale plus grande chez les vietnamiens que chez les français à T3 ou à T4, particulièrement chez les garçons (43.3 mm chez les Vietnamiens contre 37.7 mm chez les Français). Pourtant, la taille des échantillons ne nous permet pas de confirmer le caractère significatif de cette différence.

Pour chaque tranche d'âge, sauf la plus jeune, la largeur antérieure est, tous sexes confondus, plus grande chez les Français (Tableau III.19), et cette différence est plus marquée chez les filles des deux populations (Tableau III.20).

Pour les variables de longueur (longueurs totale, latérales ou des grandes cornes), à chaque tranche d'âge, les enfants vietnamiens (garçons comme filles) présentent des moyennes plus grandes que les Français.

La longueur antérieure présente des différences complexes entre sexes et entre populations. Elle a tendance à diminuer avec l'âge chez les filles françaises ou vietnamiennes, ce qui laisse supposer le rapprochement des grandes cornes du corps de l'os hyoïde. Chez les garçons, elle augmente régulièrement chez les Français alors que chez les garçons vietnamiens elle diminue beaucoup de T1 à T2 puis augmente entre T2 et T4 (ce résultat est à pondérer cependant en fonction du nombre des sujets).

	T1		T2		T3		T4	
	Fr (n = 8)	V (n =13)	Fr (n = 10)	V (n = 6)	Fr (n = 27)	V (n = 4)	Fr (n = 15)	V (n =11)
Larg totale	34.4	35.2	38.8	37.6	35.6	37.3	37.9	41.5
Larg ant	17.7	17.9	19.3	18.4	19.6	17.4	20.5	19.9
Long totale	26.0	27.8	26.9	27.5	29.2	29.9	30.8	32.2
Long lat d	31.8	32.7	33.1	33.3	34.6	35.7	36.2	38.5
Long lat g	31.3	31.9	33.1	33.5	34.1	34.9	36.2	38.3
Long GCd	19.1	19.9	20.8	21.3	21.9	24.6	24.2	25.7
Long GCg	19.1	20.4	21.1	21.7	22.0	24.0	24.5	25.8
Long ant	9.3	9.3	8.6	8.6	9.2	8.0	9.5	9.2

Tableau III. 19 : Moyenne des dimensions de l'os hyoïde par groupe d'âge dans chaque population.

Fr : population française ; V : population vietnamienne

	T1		T2		T3		T4	
	Fr (n = 4)	V (n = 6)	Fr (n = 7)	V (n = 3)	Fr (n = 14)	V (n = 4)	Fr (n = 8)	V (n = 6)
Larg totale	34.9	33.6	38.2	35.5	35.5	37.3	38.0	39.9
Larg ant	18.2	17.5	19.3	18.0	19.4	17.4	20.2	18.7
Long totale	25.8	27.7	27.4	28.7	28.7	29.9	28.7	29.9
Long lat d	31.6	32.4	33.1	34.2	34.3	35.7	34.5	36.4
Long lat g	31.5	31.3	33.5	33.4	33.7	34.9	34.2	35.7
Long GCd	19.4	19.7	21.4	21.6	22.1	24.6	23.0	25.1
Long GCg	19.1	20.3	21.7	20.8	22.0	24.0	23.4	24.6
Long ant	9.0	9.2	8.3	9.7	8.7	8.0	7.7	7.9

Tableau III. 20 : Moyenne des dimensions de l'os hyoïde des filles par groupe d'âge dans chaque population
Fr : population française ; V : population vietnamienne

	T1		T2		T3		T4	
	Fr (n = 4)	V (n = 7)	Fr (n = 3)	V (n = 3)	Fr (n = 13)	V (n = 0)	Fr (n = 7)	V (n = 5)
Larg totale	33.9	36.6	40.2	39.8	35.7		37.7	43.4
Larg ant	17.2	18.3	19.2	18.9	19.8		21.0	21.5
Long totale	26.2	27.9	25.7	26.3	29.8		33.1	34.9
Long lat d	31.9	32.9	33.3	32.4	35.1		38.2	41.0
Long lat g	31.0	32.4	32.1	33.6	34.5		38.2	41.4
Long GCd	18.8	20.1	19.3	20.9	21.7		25.5	26.4
Long GCg	19.1	20.5	19.6	22.5	21.9		25.8	27.4
Long ant	9.6	9.3	9.4	7.6	9.7		11.4	10.8

Tableau III. 21 : Moyenne des dimensions de l'os hyoïde des garçons par groupe d'âge dans chaque population
Fr : population française ; V : population vietnamienne

Cependant, toutes ces différences observées entre les enfants des deux populations ne sont pas confirmées par les tests statistiques en raison du nombre parfois insuffisant d'individus. Nous avons complété cette analyse des modifications avec l'âge par le calcul des coefficients de corrélation entre les dimensions de l'os hyoïde et l'âge pour chaque sexe et dans chaque population.

Ces coefficients sont rapportés dans le tableau III.22, l'évaluation et la comparaison de ces coefficients de corrélations confirment les précédentes observations sur les différences inter-sexes et inter-populationnelles des modifications dimensionnelles.

	Enfants Français (n = 60)			Enfants Vietnamiens (n = 34)		
	<i>Corrélation globale</i>	<i>Corrélation F</i>	<i>Corrélation M</i>	<i>Corrélation globale</i>	<i>Corrélation F</i>	<i>Corrélation M</i>
Larg totale	0.19	0.19	0.18	0.53	0.59	0.56
Larg ant	0.47	0.31	0.65	0.38	0.19	0.74
Long totale	0.41	0.13	0.70	0.60	0.49	0.78
Long lat d	0.42	0.20	0.66	0.72	0.68	0.84
Long lat g	0.47	0.19	0.72	0.73	0.69	0.89
Long GCd	0.39	0.21	0.55	0.77	0.85	0.74
Long GCg	0.41	0.29	0.53	0.70	0.77	0.73
Long ant	0.09	-0.24	0.46	-0.06	-0.51	0.38

Tableau III. 22 : Coefficients de corrélations avec l'âge

- Corrélations des dimensions de l'os hyoïde avec l'âge dans l'échantillon global (sexes confondus) et dans chaque sexe :
 - Les coefficients de corrélation avec l'âge pour les variables de largeur sont faibles comparés à ceux des longueurs, les modifications de largeur sont donc moins liées à la croissance.
 - Les coefficients de corrélation pour la longueur antérieure restent faibles, signifiant ainsi une stabilité relative du corps de l'os hyoïde entre [7 et 16 ans].
 - Jusqu'à 16 ans, la liaison entre les dimensions de l'os hyoïde et l'âge est plus forte chez les garçons pour la plupart des variables, excepté la largeur totale (coefficient identique dans les deux sexes).
- Corrélation des dimensions de l'os hyoïde avec l'âge en fonction de la population étudié
 - Dans l'échantillon complet la liaison de la largeur totale avec l'âge est beaucoup plus forte chez les Vietnamiens, les modifications de largeur totale sont donc plus importantes chez les Vietnamiens de [7 à 16 ans].
 - Ceci est retrouvé chez les filles, les Vietnamiennes présentent une largeur totale plus fortement corrélée avec l'âge que les Françaises.
 - En revanche, la corrélation de la largeur antérieure avec l'âge est plus forte chez les filles françaises. La largeur de l'os hyoïde évolue donc différemment chez les filles des deux populations avec une croissance plus forte au niveau postérieur pour les Vietnamiennes et au niveau antérieur pour les Françaises.
 - Chez les garçons, comme chez les filles, les Vietnamiens ont des corrélations de la largeur totale avec l'âge plus importantes que les Français. Par contre, à la différence des filles vietnamiennes, les garçons vietnamiens présentent également des corrélations plus fortes entre la largeur antérieure et l'âge que les garçons français.

b. Comparaison des ANCOVA

Les ANCOVA incluant les graphiques de l'évolution avec l'âge pour chaque sexe et pour chaque population sont présentés dans les figures III.18 et III.19. Au sein de ces ANCOVA, un calcul des p évaluant l'interaction de un ou plusieurs facteurs (âge, sexe, population) pour chaque variable est réalisé. Ces valeurs ne sont pas significatives quand on évalue à la fois l'influence du sexe et de la population sur l'évolution avec l'âge de toutes les variables.

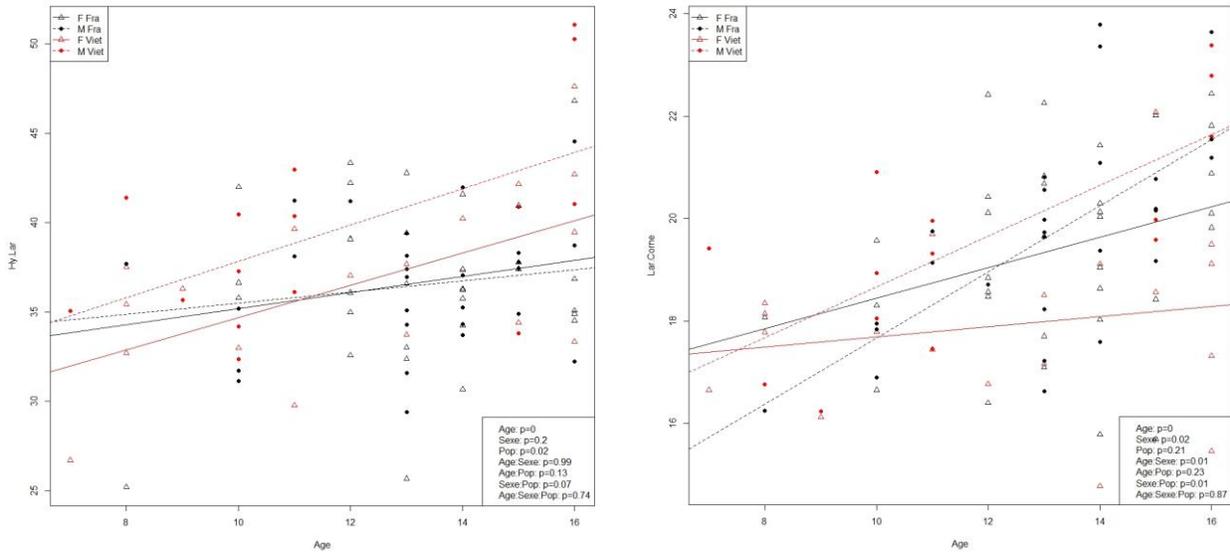


Figure III. 18 : Graphiques ANCOVAS en fonction du sexe et en fonction de la population de la largeur totale (a) et largeur antérieure (b)

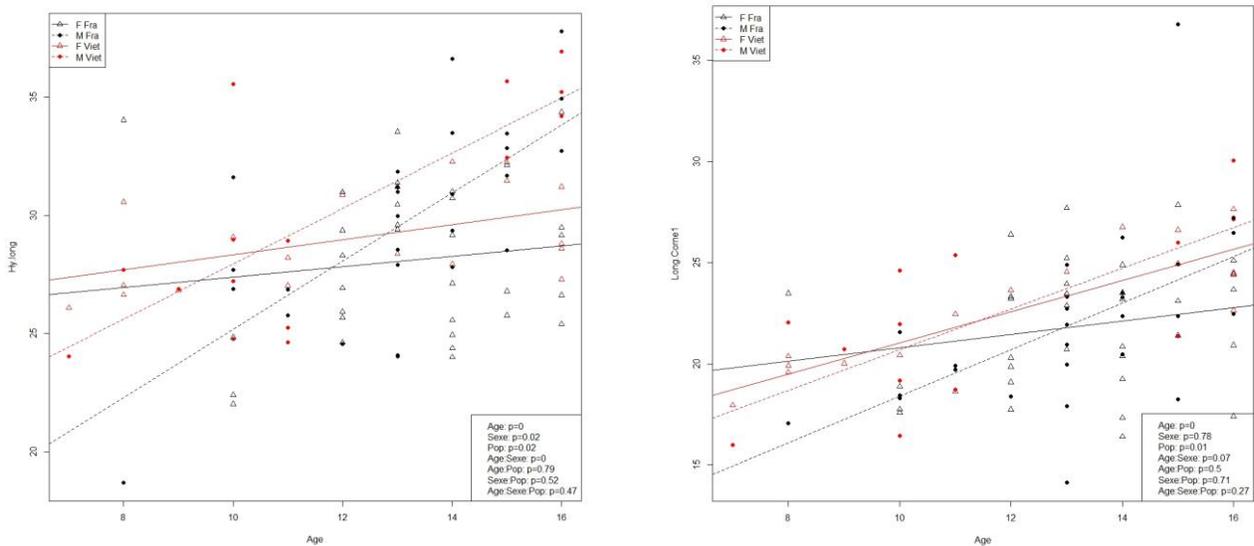


Figure III. 19 : Graphiques ANCOVAS en fonction du sexe et en fonction de la population de la longueur totale (a) et longueur des grandes cornes (b)

2.1.2.2.4. Évaluation des modifications dimensionnelles de l'enfant à l'adulte

Nous réalisons successivement dans cette partie :

- Les comparaisons des différences entre les moyennes des enfants et les moyennes des adultes, puis entre les moyennes des 3 périodes d'âge extrêmes : enfance, adolescence et âge adulte. Toutes ces comparaisons sont réalisées et commentées d'abord pour l'échantillon total, puis en fonction du sexe.
- Les comparaisons entre enfants et adultes pour les sous-groupes de population différente.
- Les graphiques de LOWESS permettant comparer les courbes de tendance entre sexes et entre populations.

a. Les comparaisons enfants-adultes sans distinction de population d'origine

Le tableau III.23 présente les valeurs moyennes des dimensions de l'os hyoïde chez les enfants et les adultes, dans l'échantillon total et selon le sexe. Des différences très significatives ($p < 0.001$) entre les enfants et les adultes sont observées pour toutes les dimensions, à l'exception de la largeur antérieure dans l'échantillon féminin. L'augmentation des dimensions de longueurs (longueur totale, longueurs des grandes cornes) est supérieure à celle des largeurs.

	Échantillon total (94 enfants 83 adultes)			Échantillon féminin (52 filles 59 femmes)			Échantillon masculin (42 garçons 24 hommes)		
	Enfant	Adulte	$\frac{A-E}{E}$ %	Filles	Femmes	$\frac{Af-Ef}{Ef}$ %	Garçons	Hommes	$\frac{Am-Em}{Em}$ %
Larg totale	37.05	39.34 (*)	6.2%	36.64	38.03	3.8%	37.56	42.55 (3*)	13.3%
Larg ant	19.20	18.94	-1.4%	18.87	18.16	-3.8%	19.61	20.82 (*)	6.2%
Larg ant Pr	19.16	18.86	-1.6%	18.81	18.08	-3.8%	19.59	20.75 (*)	6.0%
Long totale	29.02	32.71 (4*)	12.7%	28.44	31.77 (4*)	11.7%	29.74	35.03 (4*)	17.8%
Long lat d	34.63	38.43 (4*)	11.0%	34.07	37.41 (4*)	9.8%	35.31	40.89 (4*)	15.8%
Long lat g	34.23	38.06 (4*)	11.2%	33.60	36.96 (4*)	10.0%	34.99	40.76 (4*)	16.5%
Long GCd	22.15	26.01 (4*)	17.4%	22.18	25.45 (4*)	14.7%	22.12	27.38 (4*)	23.8%
Long GCg	22.35	25.83 (4*)	15.6%	22.16	25.27 (4*)	14.0%	22.58	27.28 (4*)	20.8%
Long ant	9.12	9.12	0.0%	8.50	8.71	2.5%	9.88	10.12	2.5%

Tableau III. 23 : Comparaison des dimensions de l'os hyoïde chez les enfants et chez les adultes

* : $p < 0.05$; 2* : $p < 0.01$; 3* : $p < 0.005$; 4* : $p < 0.001$ par le test de Wilcoxon ;

A : Adulte ; E : Enfant ; Af : Adulte féminin, Ef : Enfant féminin ; Am : Adulte masculin, Em : Enfant masculin

La comparaison des variations dimensionnelles de l'enfant à l'adulte en fonction du sexe (Tableau III.23), montre que:

- pour toutes les variables, les sujets de sexe masculin présentent une croissance de l'enfant à l'adulte plus importante que ceux de sexe féminin. La largeur antérieure ne varie pas entre les filles et les femmes. En revanche, elle subit une augmentation significative chez les garçons.
- la modification totale de la longueur antérieure n'est pas différente entre filles et garçons, et cette dimension change très peu entre enfants et adultes.

Les tableaux III.24 et III.25 rapportent les différences des dimensions entre jeunes enfants (≤ 10 ans), adolescents ([15-16 ans]), et adultes, deux par deux, dans les deux sexes.

Filles	Moyenne			% de différence		
	T1 (n = 10)	T4 (n = 14)	Adultes (n = 59)	$\frac{T4 - T1}{T1}$ %	$\frac{Adultes - T4}{T4}$ %	$\frac{Adultes - T1}{T1}$ %
Larg totale	34.12	38.85	38.03	13.9% (*)	-2%	11.5% (*)
Larg ant	17.75	19.52	18.16	10.0% (*)	-7% (*)	2.3%
Larg ant Pr	17.71	19.43	18.08	9.7% (*)	-7% (*)	2.1%
Long totale	26.95	29.23	31.77	8.5%	9% (3*)	17.9% (4*)
Long lat d	32.08	35.31	37.41	10.1% (*)	6% (*)	16.6% (4*)
Long lat g	31.41	34.91	36.96	11.1% (3*)	6% (*)	17.7% (4*)
Long GCd	19.60	23.91	25.45	22.0% (4*)	6% (*)	29.8% (4*)
Long GCg	19.86	23.90	25.27	20.3% (4*)	6% (*)	27.2% (4*)
Long ant	9.14	7.79	8.71	-14.7% *	12% (*)	-4.7%

Tableau III. 24 : Influence de l'âge dans le sexe féminin : analyse par groupe d'âge (< 10 ans, 15-16 ans et adultes)

* : $p < 0.05$; 2* : $p < 0.01$; 3* : $p < 0.005$; 4* : $p < 0.001$

Garçons	Moyenne			% de différence		
	T1 (n = 10)	T4 (n = 12)	Adultes (n = 24)	$\frac{T4 - T1}{T1}$ %	$\frac{Adultes - T4}{T4}$ %	$\frac{Adultes - T1}{T1}$ %
Larg totale	35.64	40.08	42.55	12.4% (*)	6.2%	19.4% (3*)
Larg ant	17.93	21.17	20.82	18.1% (4*)	-1.6%	16.1% (4*)
Larg ant Pr	17.94	21.14	20.75	17.8% (4*)	-1.8%	15.7% (4*)
Long totale	27.27	33.86	35.03	24.2% (4*)	3.4%	28.4% (4*)
Long lat d	32.55	39.37	40.89	20.9% (4*)	3.9%	25.6% (4*)
Long lat g	31.86	39.50	40.76	24.0% (4*)	3.2%	28.0% (4*)
Long GCd	19.66	25.85	27.38	31.4% (3*)	5.9%	39.2% (4*)
Long GCg	20.02	26.44	27.28	32.1% (3*)	3.2%	36.3% (4*)
Long ant	9.42	11.17	10.12	18.5% (*)	-9.3% (*)	7.4%

Tableau III. 25 : Influence de l'âge dans le sexe masculin : analyse par groupe d'âge (< 10 ans, 15-16 ans et adultes)

* : $p < 0.05$; 2* : $p < 0.01$; 3* : $p < 0.005$; 4* : $p < 0.001$

L'observation de la différence entre les trois grandes périodes montre que :

- **la largeur totale** augmente principalement entre [10 -16 ans] de façon identique (de 12 à 13 %) dans les deux sexes. La différence d'évolution apparaît dans la période entre 16 ans et l'âge adulte où l'augmentation de largeur totale (6 % en moyenne) se poursuit chez les garçons tandis que cette dimension reste stable chez les filles.
- **la largeur antérieure** entre 16 ans et l'âge adulte diminue chez les sujets féminins qui présentent, à l'âge adulte, une différence non significative avec les enfants. Chez les garçons de 7 à 16 ans, cette dimension augmente de façon importante (18.1 %), puis elle reste stable à partir de 16 ans et garde donc une valeur significativement plus importante à l'âge adulte. Les diminutions observées peuvent être liées au faible nombre de sujets étudiés et au caractère transversal de l'étude ou à des phénomènes de remodelage de l'os hyoïde.
- **les variables de longueur**, chez les deux sexes, augmentent principalement dans la période de 7 à 16 ans, avec une amplitude plus importante chez les garçons que chez les filles. Entre l'adolescent et l'adulte, les modifications sont moins importantes que pendant la période précédente chez les deux sexes pour la plupart des variables. En revanche, malgré des valeurs proches (6 % pour les filles et 3-5 % pour les garçons), l'amplitude des modifications en cette période est tout de même significative chez les filles alors qu'elle ne l'est pas chez les garçons. Ainsi :

+ *la longueur totale*, entre l'enfant et l'adolescent, a significativement augmenté ($p < 0.001$) chez les garçons avec une différence de 24.2 % entre les moyennes. Cette augmentation est seulement de 8.5 % chez les filles, et elle n'est pas significative. Dans la période de l'adolescent à l'adulte, chez les garçons, la longueur totale a augmenté de façon non significative (environ de 3.4 %), tandis que chez les filles, cette augmentation de l'ordre de 9 % et est démontrée significative au test.

+ *la longueur des grandes cornes* a augmenté très significativement, pour les filles ou pour les garçons, entre les jeunes enfants et les adolescents. Les garçons montrent pourtant une amplitude plus grande (aux alentours de 30 % contre 20 % chez les filles). Les différences entre les dimensions à l'âge adulte et celles à l'âge adolescent ne sont pas significatives chez les garçons mais le sont chez les filles.

+ *les longueurs latérales* montrent les mêmes modifications que celles des longueurs des grandes cornes, décrites précédemment.

+ *la longueur antérieure* présente des modifications très différentes entre les deux sexes qui sont liées à la fois au rapprochement des grandes cornes au corps de l'os hyoïde et au remodelage du corps de l'os hyoïde lui-même. C'est la raison pour laquelle des modifications opposées de cette longueur sont observées entre les différentes périodes :

- chez les individus féminins : la longueur antérieure diminue de façon importante entre les filles de moins de 11 ans et les adolescentes, ce qui est probablement dû à l'accroissement des grandes cornes sans accompagnement du remodelage du corps de l'os hyoïde pendant cette période. Entre adolescentes et femmes, la longueur antérieure augmente de 12 %, ce qui fait penser au phénomène d'apposition osseuse antérieure du corps de l'os hyoïde chez elles en cette période. L'augmentation observée compense la diminution relevée pour la période précédente. Il en résulte donc très peu de différences entre enfants et adultes.
- chez les individus masculins, la longueur antérieure augmente significativement entre jeunes enfants et adolescents, indiquant des modifications importantes du corps de l'os hyoïde entre ces deux périodes chez eux, malgré les augmentations aussi importantes des longueurs des grandes cornes. Après 16 ans, la longueur antérieure diminue significativement, et à l'âge adulte, elle n'est pas significativement différente de celle des jeunes enfants.
- ces modifications inverses de la longueur antérieure observées chez les deux sexes montrent que les remodelages du corps de l'os hyoïde ont lieu plutôt chez les garçons (principalement entre [10 ans et 16 ans]) que chez les filles (principalement après 16 ans).

b. Les comparaisons enfants-adultes dans chaque population française ou vietnamienne

Le tableau III.26 résume les différences des dimensions de l'os hyoïde et les valeurs p des tests de Wilcoxon entre enfants et adultes, pour chaque sexe dans chaque population.

	Françaises (33 filles et 34 femmes)		Vietnamiennes (18 filles et 25 femmes)		Français (27 garçons 16 hommes)		Vietnamiens (16 garçons 8 hommes)	
	Différence	p	Différence	p	Différence	p	Différence	P
Larg totale (mm)	2.9	0.018	-0.4	0.73	5.5	0.017	4.1	0.574
Larg ant (mm)	-0.9	0.008	-0.3	0.381	0.7	0.039	2.1	0.442
Long totale (mm)	2.7	0.066	3.7	< 0.001	5.5	< 0.001	4.8	0.083
Long lat d (mm)	3.3	0.002	3.0	0.001	5.6	< 0.001	5.6	0.13
Long lat g (mm)	2.8	0.007	3.7	< 0.001	5.8	< 0.001	5.7	0.234
Long GCd (mm)	3.3	< 0.001	2.9	< 0.001	4.9	< 0.001	5.9	0.004
Long GCg (mm)	2.8	0.001	3.3	< 0.001	4.8	< 0.001	4.8	0.05
Long ant (mm)	0	0.125	0.4	0.438	0.3	0.008	0.0	0.505

Tableau III. 26 : Augmentations dimensionnelles de l'os hyoïde entre enfants et adultes filles et garçons de chaque population française et vietnamienne.

Chez les sujets féminins des deux populations, nous remarquons une différence pour les largeurs totale et antérieure qui reste stable chez les Vietnamiennes mais qui augmente significativement chez les Françaises. Les variables de longueur augmentent significativement entre les filles et les femmes dans les deux populations.

Les augmentations des dimensions sont de la même amplitude chez les garçons des deux populations et supérieures à celles des filles. Chez les Vietnamiens, l'augmentation de largeur totale, tout comme celle des longueurs latérales (malgré une valeur grande et proche des valeurs des Français), ne sont pas significatives selon le test de Wilcoxon, probablement à cause du nombre faible d'adultes masculins vietnamiens.

c. Les comparaisons des graphiques de LOWESS

Des graphiques de *LOWESS* sont réalisés pour compléter l'évaluation des dimensions de l'os hyoïde de l'enfant à l'adulte dans chaque sexe et dans chaque population.

Pour la largeur totale (Figure III.20, p.128), le graphique montre la tendance que nous avons observée précédemment, avec une augmentation chez les filles françaises qui n'est pas observée chez les filles vietnamiennes.

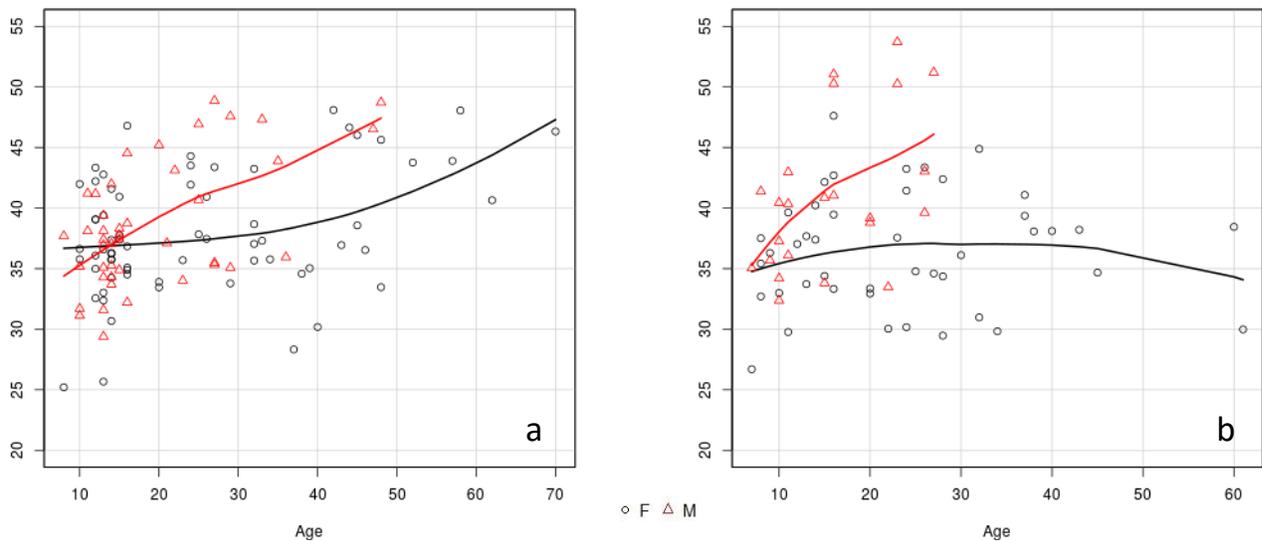


Figure III. 20 : Graphique LOWESS de la variable Larg totale
a: population française; b: population vietnamienne

La largeur antérieure présente une différence d'évolution significative entre filles et garçons dans les deux populations : elle augmente chez les sujets masculins et ne varie pas chez les sujets féminins (Figure III.21).

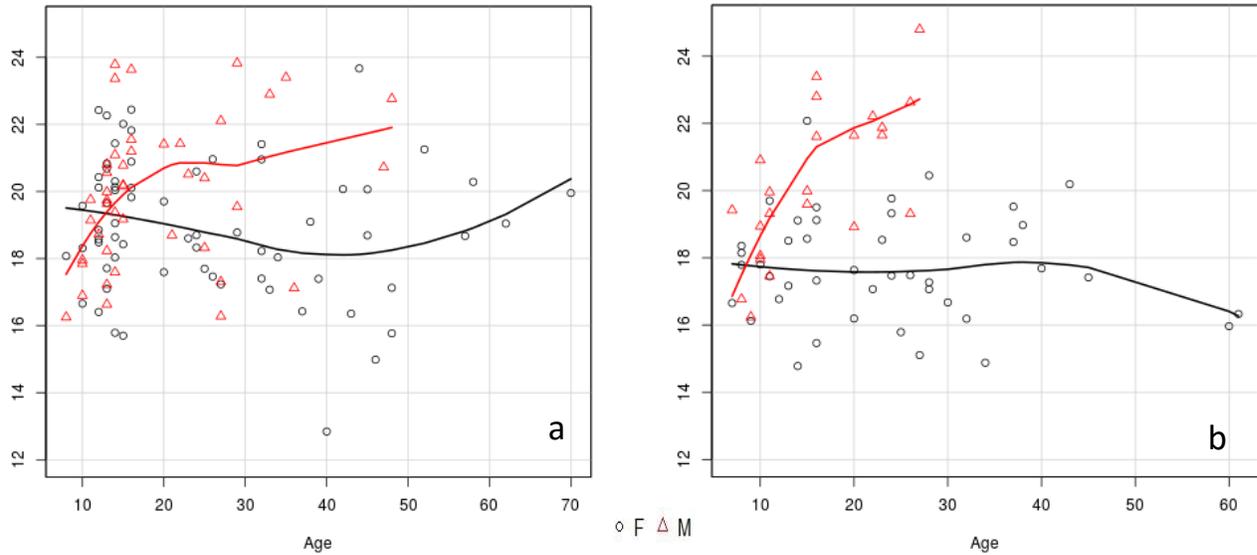


Figure III. 21 : Graphique LOWESS de la variable Larg ant
a: population française; b: population vietnamienne

Pour la longueur totale de l'os hyoïde (Figure III.22, p.129) : une croissance importante est observée chez les garçons des deux populations de 10 à 16 ans et leurs dimensions dépassent celles des filles vers 13-14 ans. À partir de l'âge adulte, la longueur reste stable jusqu'à l'âge de 70 ans.

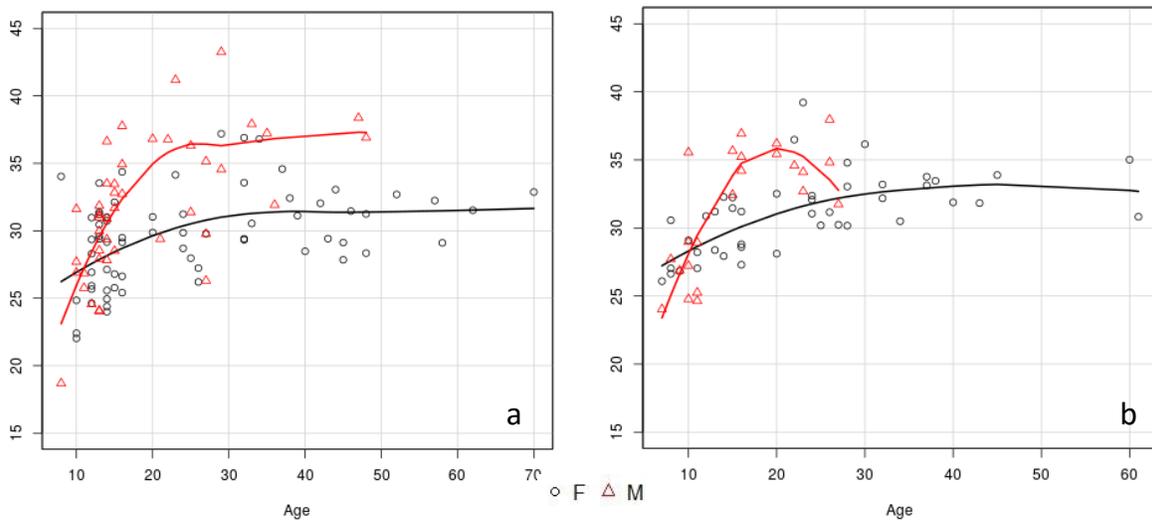


Figure III. 22 : Graphique LOWESS de la variable Long totale
a: population française; b: population vietnamienne

Pour la longueur antérieure (Figure III.23), les graphiques de LOWESS montrent des augmentations de l'enfant à l'adulte nettement plus importantes chez le sexe masculin des deux populations. À partir de l'âge adulte, les courbes (dans les deux populations et dans les deux sexes) démontrent une diminution de la longueur antérieure liée au processus de fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde. Pour les hommes, français ou vietnamiens, la diminution est brutale et se produit vers 20-25 ans. Chez les femmes, elle est moins marquée et se produit plus tard, vers 35-40 ans. Nous observons également que la longueur antérieure n'est pas très différente entre les individus masculins des deux populations, tandis qu'elle est plus grande chez les Vietnamiennes que chez les Françaises.

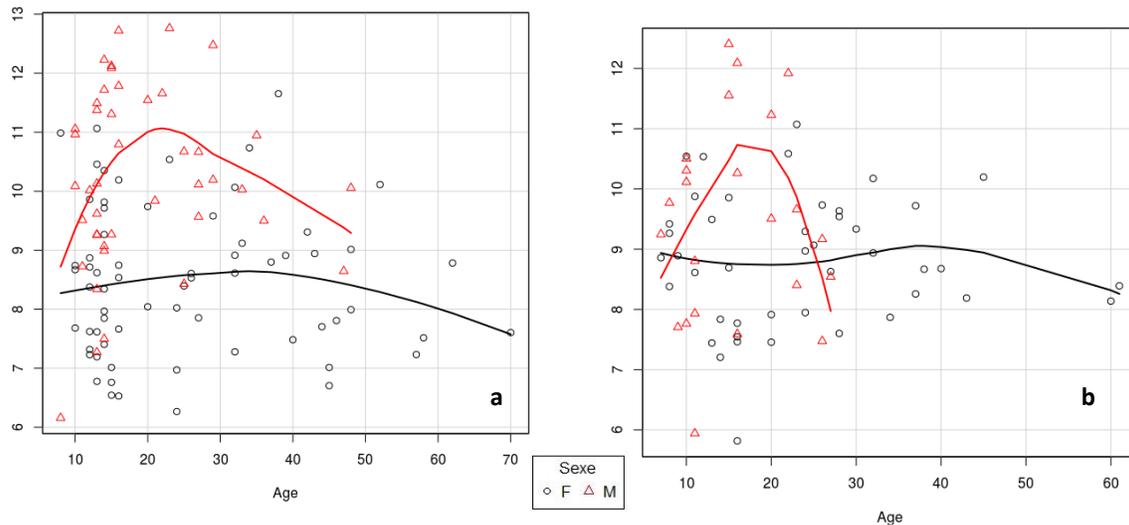


Figure III. 23 Graphique LOWESS de la variable Longueur antérieure
a: population française; b: population vietnamienne

En résumé : L'évolution dimensionnelle de l'os hyoïde montre des augmentations plus importantes des longueurs que des largeurs. Les différences d'évolution de longueur entre sexes apparaissent pendant la période pubertaire, avec une augmentation plus importante chez les garçons. Les différences d'évolution de largeur entre sexes apparaissent plus tard, dans la période de l'adolescence à l'âge adulte, la largeur totale continuant à augmenter chez les garçons tandis qu'elle reste stable chez les filles. Une évolution différente des largeurs est observée entre les filles des deux populations, avec des augmentations plus importantes de la largeur totale chez les filles françaises. L'évolution de la longueur antérieure montre des modifications inverses dans les deux sexes, avec un remodelage du corps de l'os hyoïde important et dominant chez les garçons entre 7 et 16 ans, tandis qu'il est peu important et plus tardif chez les filles.

2.1.2.2.5. Modifications dimensionnelles de l'os hyoïde à l'âge adulte

Les modifications dimensionnelles de l'os hyoïde à l'âge adulte sont évaluées par les coefficients de corrélation, présentés dans le tableau III.27.

Les valeurs de ces coefficients, associées avec les graphiques présentés précédemment, nous montre :

- Les modifications avec l'âge chez les adultes sont faibles pour la plupart des variables et ne sont pas différentes entre les deux populations. La dimension qui varie significativement chez les adultes est la longueur antérieure, avec une diminution plus forte avec l'âge chez les français ($r = -0.35$) par le processus de fusion des grandes cornes au corps.
- Pour les variables de largeur, la population française démontre un coefficient de corrélation avec l'âge plus fort que dans la population vietnamienne. Ces coefficients de corrélation restent faibles et non significatives (Tableau III.27).

	Larg totale	Larg ant	Long totale	Long lat d	Long lat g	Long GCd	Long GCg	Long ant
Français	0.26	-0.03	-0.07	0.04	0.09	0.14	0.24	-0.35
Vietnamien	-0.17	-0.3	-0.11	-0.25	-0.13	-0.14	-0.01	-0.24

Tableau III. 27 : Coefficients de corrélation des dimensions de l'os hyoïde avec l'âge chez les adultes.

En conclusion, une première synthèse de l'influence des facteurs biologiques sur les dimensions de l'os hyoïde peut être proposée. Tout d'abord, un dimorphisme sexuel de taille est observé chez les adultes, les hommes présentent des dimensions significativement plus grandes. Ce dimorphisme sexuel n'existe pas chez les enfants. L'augmentation de taille de l'os hyoïde plus importante chez les garçons vers l'adolescence explique cette différence entre adultes et enfants.

L'influence des origines géographiques (ici européenne et asiatique) est constatée, avec un os hyoïde plus large et plus court chez les femmes françaises que chez les femmes vietnamiennes. Cette différence est le résultat d'une augmentation de largeur plus importante chez les filles françaises. L'os hyoïde des hommes des deux échantillons de populations ne présente pas de différence significative, l'amplitude de l'augmentation de taille entre garçons et hommes est très proche chez les Français et Vietnamiens.

2.2. Caractéristiques morphologiques de l'os hyoïde

2.2.1. Variables de description de la morphologie de l'os hyoïde

Comme nous l'avons détaillé dans la partie méthodologique, les variables qui révèlent la morphologie de l'os hyoïde sont les suivantes (Figure III.24, p.132) :

- l'angle hyoïdien qui présente la divergence entre le point antérieur du corps de l'os hyoïde et les deux extrémités postérieures des grandes cornes,
- l'angle entre deux grandes cornes ,
- les rapports entre largeur et longueur, entre largeur antérieure (au niveau des extrémités antérieures des grandes cornes) et totale (au niveau des extrémités postérieures des grandes cornes),
- le caractère symétrique ou non des deux grandes cornes.

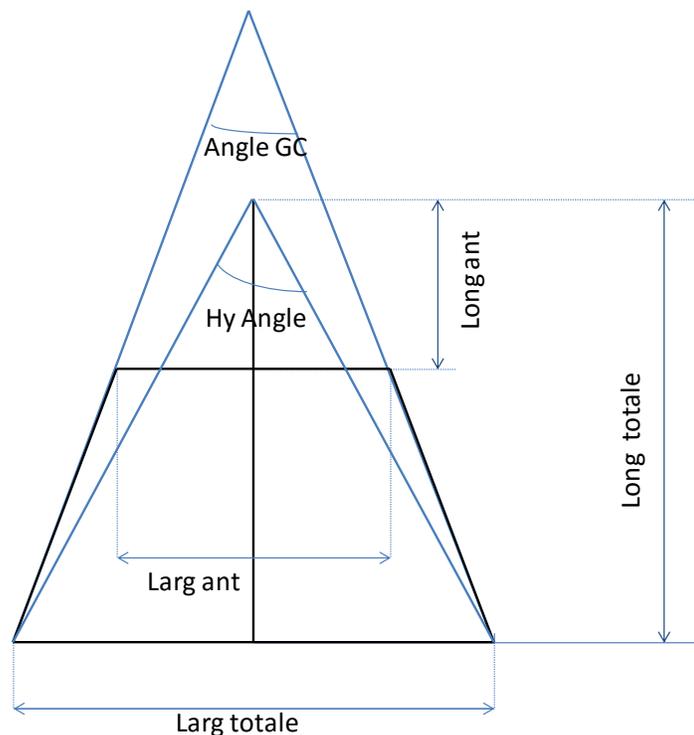


Figure III. 24 : Variables exprimant la morphologie de l'os hyoïde

Nous suivons le même plan que pour la partie dimensionnelle. Dans un premier temps, nous présentons l'analyse descriptive puis dans un deuxième temps une évaluation de l'influence des différents facteurs biologiques (sexe, âge ou population) sur la morphologie de l'os hyoïde.

2.2.2. Analyse descriptive des variables

Pour l'analyse descriptive, nous présentons tout d'abord les résultats globaux et ensuite une description plus détaillée de chaque variable.

2.2.2.1. Résultats globaux des variables morphologiques

Les moyennes et écart-types ainsi que les dispersions des variables morphologiques de l'os hyoïde sont résumés dans le tableau III.28.

		Moyenne ± Ecart type	Minimum	Maximum
Hy Angle (°)	<i>Enfants</i> (n = 94)	65.0 ± 8.7	40.6	90.4
	<i>Adultes</i> (n = 83)	61.71 ± 8.4	44.5	79.1
	<i>Tous</i> (n = 177)	63.6 ± 8.7	40.6	90.4
Angle GC (°)	<i>Enfants</i> (n = 94)	51.2 ± 14.1	17.6	94.4
	<i>Adultes</i> (n = 83)	47.4 ± 10.4	26.2	70.0
	<i>Tous</i> (n = 177)	49.5 ± 12.6	17.6	94.4
Rapport Larg totale / Long totale	<i>Enfants</i> (n = 94)	1.21 ± 0.21	0.82	1.65
	<i>Adultes</i> (n = 83)	1.30 ± 0.22	0.74	2.02
	<i>Tous</i> (n = 177)	1.26 ± 0.22	0.74	2.02
Rapport Larg ant / Long totale	<i>Enfants</i> (n = 94)	0.49 ± 0.06	0.38	0.66
	<i>Adultes</i> (n = 83)	0.52 ± 0.07	0.39	0.72
	<i>Tous</i> (n = 177)	0.51 ± 0.07	0.38	0.72
Ratio Long ant / Long totale	<i>Enfants</i> (n = 94)	0.32 ± 0.05	0.21	0.48
	<i>Adultes</i> (n = 83)	0.28 ± 0.03	0.22	0.36
	<i>Tous</i> (n = 177)	0.30 ± 0.05	0.21	0.48

Tableau III. 28 : Résultats globaux des mesures de la morphologie de l'os hyoïde

2.2.2.2. Analyse descriptive détaillée pour chaque variable

2.2.2.2.1. Hy Angle et Angle GC

Ces deux angles rendent compte de la divergence des parties latérales de l'os hyoïde. Si l'angle entre les deux grandes cornes (variable Angle GC) ne concerne que leur divergence (plus l'angle est faible, plus les deux grandes cornes sont parallèles), l'angle hyoïdien inclut également la position du point le plus antérieur du corps de l'os hyoïde (plus l'angle est faible, plus ce point est éloigné des deux extrémités postérieures des grandes cornes, et plus l'os hyoïde a tendance à être long (Figure III.24). L'angle GC présente une amplitude de variation plus grande, avec des valeurs allant de 17° à 95° tandis que les valeurs ne varient que de 40° à 90° pour l'angle hyoïdien (Tableau III.29). Les histogrammes de fréquence des valeurs sont présentés dans la figure III.25. La grande majorité des sujets (166/177 cas) ont un angle hyoïdien variant de 50° à 80° et un angle des grandes cornes compris entre 30° et 70° (155/177 cas).

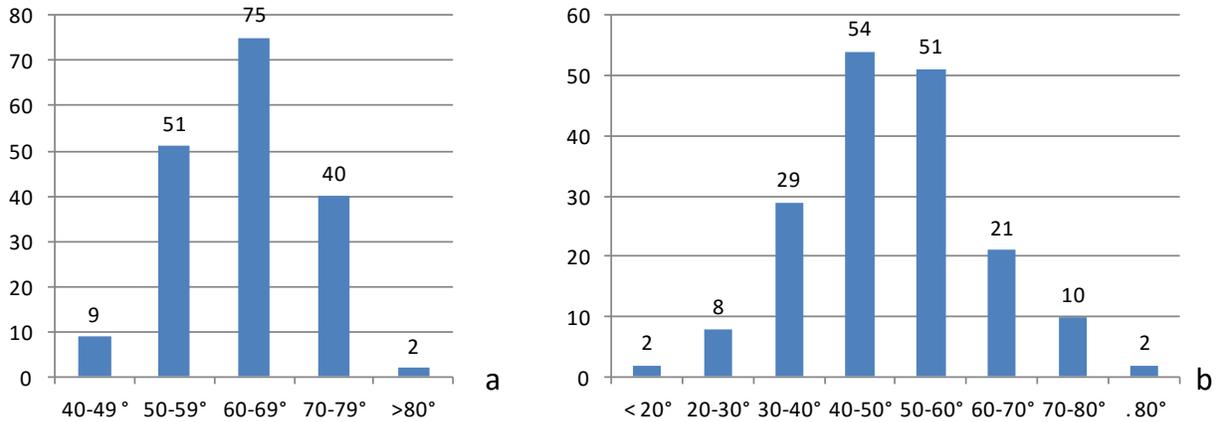


Figure III. 25 : Histogramme des fréquences des valeurs de l'angle hyoïde (a) et de l'angle entre grandes cornes (b)

2.2.2.2.2. Rapport de la largeur antérieure sur la largeur totale

Globalement, nous pouvons remarquer que la largeur antérieure des grandes cornes varie du tiers aux deux tiers de la largeur postérieure. Dans l'échantillon total, 47.46 % des sujets ont un rapport inférieur à 0.50, et 52.54 % des sujets un rapport ≥ 0.50 (Figure III.26).

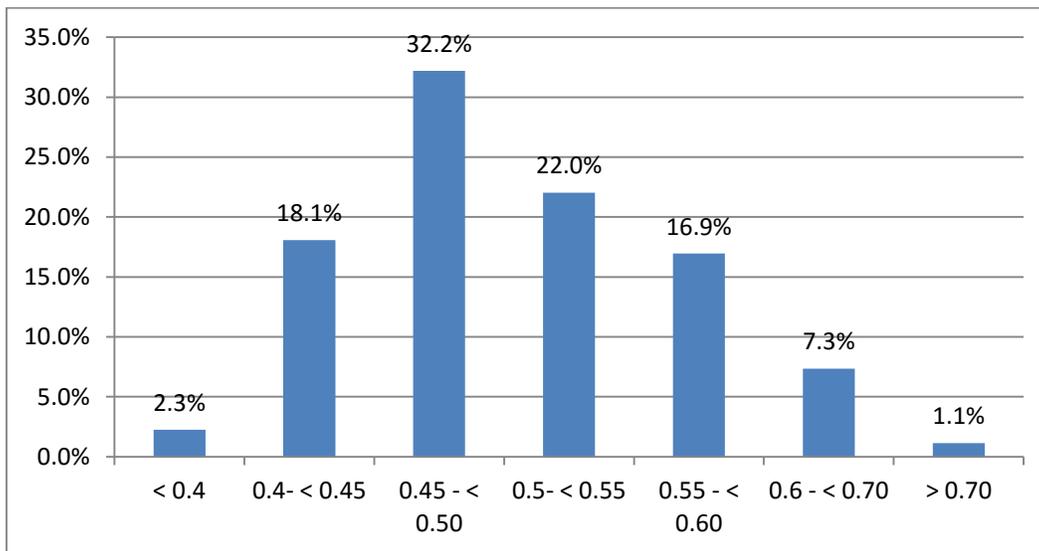


Figure III. 26 : Histogramme des fréquences des valeurs du rapport largeur antérieure/largeur totale dans l'échantillon total

2.2.2.2.3. Rapport de la largeur à la longueur de l'os hyoïde

Il varie de 0.74 à 2.02. La relation entre la largeur et la longueur totales de l'os hyoïde est donc très variable, l'os hyoïde peut avoir une largeur beaucoup plus petite que la longueur

(rapport = 0.74), ou dans le cas contraire, une largeur jusqu'à 2 fois plus grande que la longueur (rapport = 2.02).

La fréquence de ces rapports dans l'échantillon total est présentée dans le graphique de la figure III.27. La plupart des os hyoïdes ont une largeur un peu plus grande que la longueur, les valeurs entre 1 et 1.5 sont les plus fréquentes et correspondent à 75.3 % de l'échantillon total, avec des fréquences voisines des rapports 1.1, 1.2, 1.3, 1.4. Le pourcentage des os qui ont une largeur inférieure à la longueur (rapport <1) ou une largeur supérieure à une fois et demi (rapport >1.5) est identique, chaque catégorie représente 11.86 % de l'échantillon (Figure III.27).

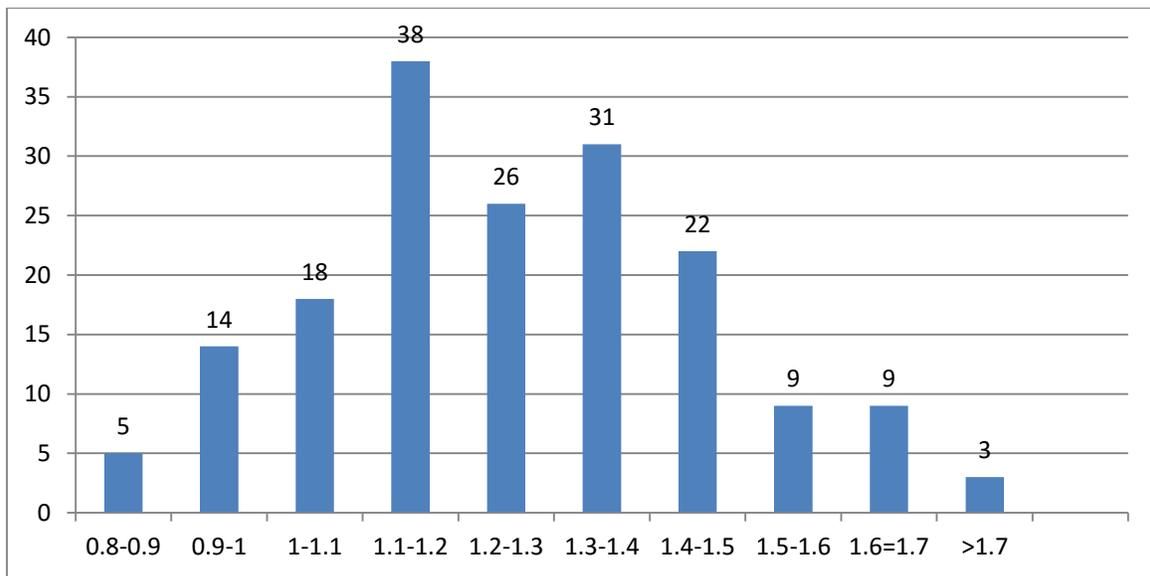


Figure III. 27 : Histogramme des fréquences des valeurs du rapport largeur/longueur dans l'échantillon total

2.2.2.2.4. Rapport de la longueur antérieure à la longueur totale

Il représente la participation du corps de l'os hyoïde à la longueur totale de l'os (*cf. supra* Figure III.21). Ce rapport varie entre 0.21 et 0.48. Ainsi dans les cas extrêmes, la longueur du corps de l'os hyoïde occupe 20 % ou près de 50 % de la longueur totale de l'os hyoïde. Les os hyoïdes dont le rapport est compris entre 0.25 et 0.35 sont les plus fréquents et représentent 68.9 % de l'échantillon.

La répartition de ce rapport dans l'échantillon total est présentée dans la figure III.28 (p.135)

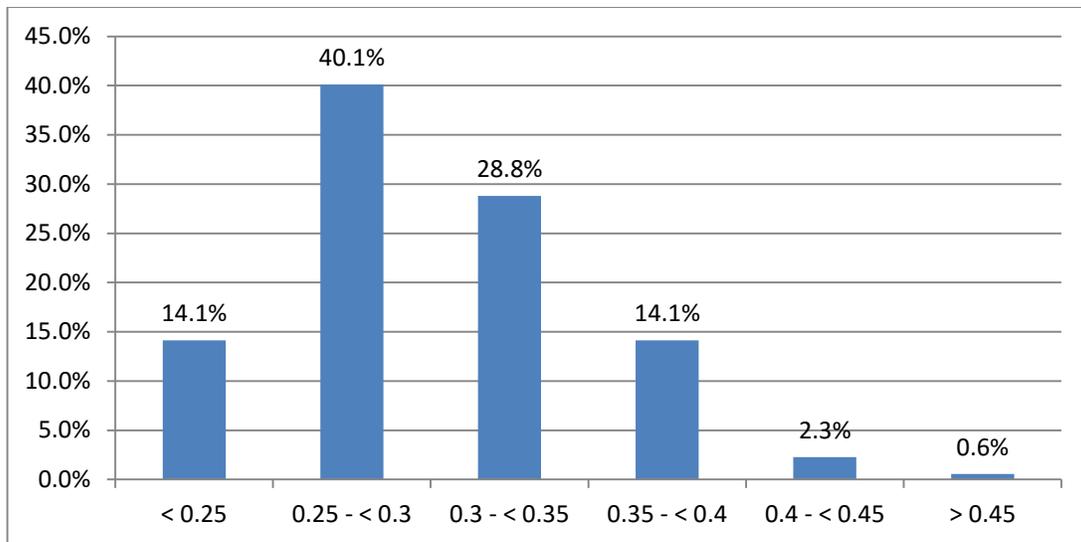


Figure III. 28 : Histogramme des fréquences des valeurs du rapport Longueur antérieure/ Longueur totale

2.2.3. Influence des paramètres biologiques

Nous analysons ci-dessous successivement et indépendamment l'influence des facteurs sexe, âge et population sur les variables morphologiques de l'os hyoïde. L'interaction composée de ces facteurs sera ensuite analysée par la réalisation des ANCOVA et diagramme de LOWESS.

2.2.3.1. Influence du facteur sexe

Entre les deux sexes, une seule différence significative (Tableau III.29) est constatée pour le rapport Longueur antérieure/Longueur totale plus grand chez les enfants ou adultes de sexe masculin. Ceci démontre que soit le corps de l'os hyoïde a une longueur antéropostérieure plus grande chez les individus de sexe masculin, soit l'espace articulaire entre les extrémités antérieures des grandes cornes et le corps de l'os hyoïde est plus grand.

	Enfants (n = 94)		p Filles / Garçons	Adultes (n = 83)		p Femme / Hommes
	Filles (n = 52)	Garçons (n = 42)		Femmes (n = 59)	Hommes (n = 24)	
Hy Angle (°)	65.8 ± 8.7	64.1 ± 8.8	0.366	61.7 ± 8.4	62.3 ± 8.4	0.775
Angle GCo (°)	51.1 ± 14.9	51.4 ± 13.2	0.919	47.6 ± 10.3	47.7 ± 11.0	0.993
Rapport Larg totale/Long totale	1.30 ± 0.22	1.28 ± 0.23	0.687	1.21 ± 0.21	1.23 ± 0.21	0.717
Rapport Larg ant/Larg totale	0.52 ± 0.08	0.53 ± 0.07	0.686	0.48 ± 0.05	0.49 ± 0.06	0.371
Rapport Long ant/Long totale	0.30 ± 0.05	0.33 ± 0.05	0.003	0.27 ± 0.03	0.29 ± 0.04	0.040

Tableau III. 29 : Comparaison des variables morphologiques de l'os hyoïde selon le sexe chez les enfants et les adultes.

2.2.3.2. Influence du facteur âge

L'influence du facteur âge sur la morphologie de l'os hyoïde est évaluée comme suit :

- tout d'abord par les tests de comparaison entre enfants et adultes,
- ensuite par les comparaisons entre différentes périodes d'âge, suivant le regroupement précédemment décrit (cf. 2.1.2.2),
- finalement par les observations de la fréquence des différentes formes dans chaque échantillon d'enfants ou d'adultes pour chaque variable.

Le Tableau III.31 présente les résultats des tests de Wilcoxon comparant les échantillons enfants et adultes.

La différence est significative entre enfants et adultes pour presque toutes les variables morphologiques, ainsi l'angle hyoïde, le rapport Larg totale / Long totale de l'os, le rapport Larg ant/Larg totale, le rapport Long ant/Long totale de l'os hyoïde (Tableau III.30) sont significativement plus petits chez les adultes que chez les enfants. Ceci démontre une différence de forme entre l'os hyoïde des enfants et celui des adultes : les adultes ont des os plus longs et étroits (rapport Larg totale /Long totale plus faible), plus évasés en forme (rapport Larg ant/Larg totale plus faible).

	Moyenne ± Ecart type		Dispersion		p Wilcoxon Enfants/Adultes
	<i>Enfants</i> (n = 94)	<i>Adultes</i> (n = 83)	<i>Enfants</i> (n = 94)	<i>Adultes</i> (n = 83)	
Hy Angle (°)	65.0 ± 8.7	61.7 ± 8.4	40.6 – 90.4	44.5 – 79.1	0.016
Angle GC (°)	51.2 ± 14.1	47.4 ± 10.4	17.6 – 94.4	26.8 – 70.0	0.061
Rapport Larg totale/Long totale	1.3 ± 0.2	1.21 ± 0.21	0.74 – 2.02	0.82 – 1.65	0.012
Rapport Larg ant/Larg totale	0.51 ± 0.07	0.49 ± 0.06	0.39 – 0.72	0.38 – 0.66	< 0.001
Rapport Long ant/Long totale	0.32 ± 0.05	0.28 ± 0.03	0.21 – 0.48	0.22 – 0.36	< 0.001

Tableau III. 30 : Comparaison entre enfants et adultes des variables de morphologie

Les résultats plus détaillés pour chaque tranche d'âge sont présentés dans le tableau III.31. Ils montrent que trois variables diminuent continuellement de l'enfant à l'adulte : angle hyoïdien, angle entre deux grandes cornes, rapport Long ant/Long totale.

En revanche, les rapports Larg totale/Long totale et Larg ant/Larg totale montrent des modifications différentes entre les 4 tranches d'âges. Pour le rapport Larg ant/Larg totale, il diminue entre T1 et T2, puis augmente entre T2 à T3 avant de diminuer de T3 à l'adulte. Le rapport Larg totale/Long totale présente des comportements avec le temps encore plus variés, en augmentant et diminuant entre les tranches d'âges. Ces variations du rapport entre largeur et longueur peuvent être dues à la croissance différentielle de la largeur et de la longueur dans chaque période ou à l'interférence des facteurs sexe et population qui n'est pas écartée dans le

calcul. L'interaction de ces facteurs avec l'âge sera analysée ci-dessous par les ANCOVA et LOWESS.

	Hy Angle	Angle GC	Rapport Larg totale / Long totale	Rapport Larg ant / Larg totale	Rapport Long ant / Long totale
T1 (n=21)	66.6 ± 11.2	53.2 ± 15.2	1.32 ± 0.30	0.52 ± 0.08	0.34 ± 0.04
T2 (n=16)	64.7 ± 8.7	51.7 ± 14.0	1.42 ± 0.18	0.50 ± 0.05	0.32 ± 0.06
T3 (n=31)	64.5 ± 6.5	49.7 ± 12.2	1.24 ± 0.18	0.54 ± 0.07	0.31 ± 0.06
T4 (n=26)	64.4 ± 7.8	49.8 ± 14.9	1.27 ± 0.20	0.52 ± 0.08	0.30 ± 0.06
Adultes (n=83)	61.9 ± 8.4	47.6 ± 10.4	1.21 ± 0.21	0.48 ± 0.06	0.28 ± 0.03

Tableau III. 31 : Analyse descriptive des variables morphologiques pour chaque tranche d'âge

Le tableau III.32 présente la comparaison des moyennes des trois périodes extrêmes : jeunes enfants (T1), adolescents (T4) et adultes par le test de Wilcoxon :

	T1 (n=21)	T4 (n=26)	Adultes (n=83)	p T1 vs T4	p T4 vs Adultes	p T1 vs Adultes
Hy Angle	66.6 ± 11.2	64.4 ± 7.8	61.9 ± 8.4	0.477	0.158	0.045
Angle GC	53.2 ± 15.2	49.8 ± 14.9	47.6 ± 10.4	0.367	0.693	0.067
Larg totale / Long totale	1.32 ± 0.30	1.27 ± 0.20	1.21 ± 0.21	0.574	0.205	0.096
Larg ant / Larg totale	0.52 ± 0.08	0.52 ± 0.08	0.48 ± 0.06	0.772	0.031	0.070
Long ant / Long totale	0.34 ± 0.04	0.30 ± 0.06	0.28 ± 0.03	0.002	0.123	< 0.001

Tableau III. 32 : Comparaison entre 3 périodes : petit enfant, adolescent et adulte

Quelques observations peuvent être détaillées pour chaque variable :

2.2.3.2.1. Pour l'angle hyoïdien et l'angle entre les 2 grandes cornes :

L'angle hyoïdien et l'angle entre les 2 grandes cornes ne présentent pas de modifications importantes pour une période d'âge précise, ils diminuent continuellement entre les tranches d'âge pour arriver à une différence significative entre enfant et adulte (Tableau III.31, III.32, III.33).

L'angle hyoïdien est significativement plus petit chez les adultes et, de plus, présente moins de variation que chez les enfants.

2.2.3.2.2. Rapport de la largeur à la longueur

Le rapport Larg totale/Long totale est significativement plus petit chez les adultes ($p = 0.01$), du fait de l'augmentation plus importante de la longueur par rapport à la largeur de l'enfant à l'adulte. La diminution de ce rapport se manifeste par la fréquence plus importante des sujets ayant un os hyoïde extrêmement large (rapport Larg totale/Long totale > 1.5) chez les enfants (13.8 %), au contraire d'une fréquence plus importante des sujets ayant l'os hyoïde extrêmement

étroit chez les adultes (16.87 %) (Figure III.26). Cette différence ne se révèle cependant pas significative au test exact de Fischer ($p = 0.12$) (Tableau III.33).

	Rapport < 1	Rapport > 1.5	Test de Fischer
Enfants	7	13	$p = 0.12$
Adultes	14	8	

Tableau III. 33 : Comparaisons entre enfants et adultes la fréquence des formes extrêmes de l'os hyoïde (rapport largeur / longueur très petit ou très grand)

La répartition des différents rapports largeur totale / longueur totale chez les enfants et chez les adultes est présentée dans la figure III.29.

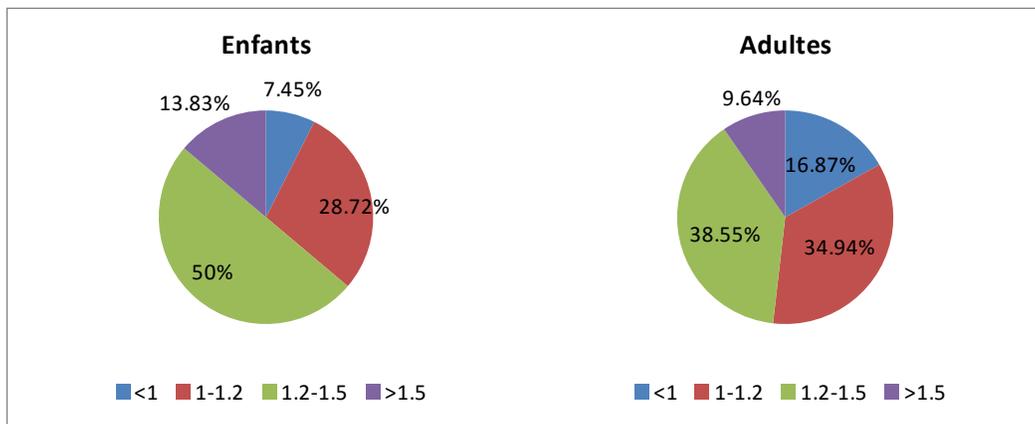


Figure III. 29 : Fréquence des différentes valeurs du rapport Larg totale / Long totale chez les enfants et les adultes

Pour vérifier l'influence du facteur sexe dans la différence entre enfants et adultes, un test de Fischer a été réalisé pour comparer la fréquence des quatre groupes de valeurs du rapport Larg totale/Long totale (< 1, 1-1.2, 1.2-1.5, ≥ 1.5) entre les filles et les femmes et entre les garçons et les hommes (Tableau III.34). Les différences de répartition sont significatives entre filles et femmes. Chez les femmes, un rapport < 1 est significativement plus fréquent que chez les filles. Entre les garçons et les hommes, la répartition de ces rapports ne diffère pas significativement.

	Rapport < 1	Rapport 1-1.2	Rapport 1.2-1.5	Rapport ≥ 1.5	p Fischer exact
Enfants Filles	3	13	27	9	0.05
Adultes Femmes	12	19	23	5	
Enfants Garçons	4	14	20	4	0.86
Adultes Hommes	2	10	9	3	
Enfants	7	27	47	13	0.13
Adultes	14	29	32	8	

Tableau III. 34 : Comparaison entre enfants et adultes des fréquences des rapports Larg totale / Long totale

Entre les différentes tranches d'âge, le rapport largeur totale/longueur totale augmente entre T1 et T2, puis diminue de T3 à T4 jusqu'à l'âge adulte. Ceci reconferme une croissance différentielle de la largeur et longueur, la largeur totale augmente plus dans les jeunes âges tandis que la longueur totale augmente un peu plus tardivement.

2.2.3.2.3. Rapport de la largeur antérieure à la largeur totale

Le rapport Larg ant / Larg totale est en moyenne supérieur à 0.5 chez les enfants (varie de 0.38 à 0.72) et inférieur à 0.5 chez les adultes (varie de 0.39 à 0.66) (Tableau III.31). De plus, chez les adultes, la fréquence des individus présentant un rapport inférieur à 0.5 est significativement plus importante que chez les enfants (Figure III.30) : deux tiers des adultes avec un rapport < 0.5 contre un tiers chez les enfants.

Ce rapport présente des variations différentes entre les tranches d'âge, il diminue entre T1 et T2, puis augmente entre T2 à T3 avant de diminuer de T3 à l'âge adulte (Tableau III.32).

La comparaison entre 3 groupes : jeunes enfants, adolescents et adultes (Tableau III.33) précise que ce rapport ne présente pas de modification significative entre jeunes enfants et adolescents mais diminue significativement entre adolescents et adultes.

L'augmentation significative de la largeur au niveau des extrémités postérieures des grandes cornes sans modification de largeur au niveau des extrémités antérieures des grandes cornes (démontrée en partie III.2.1.2.2.2) explique la valeur plus faible de ce rapport chez les adultes.

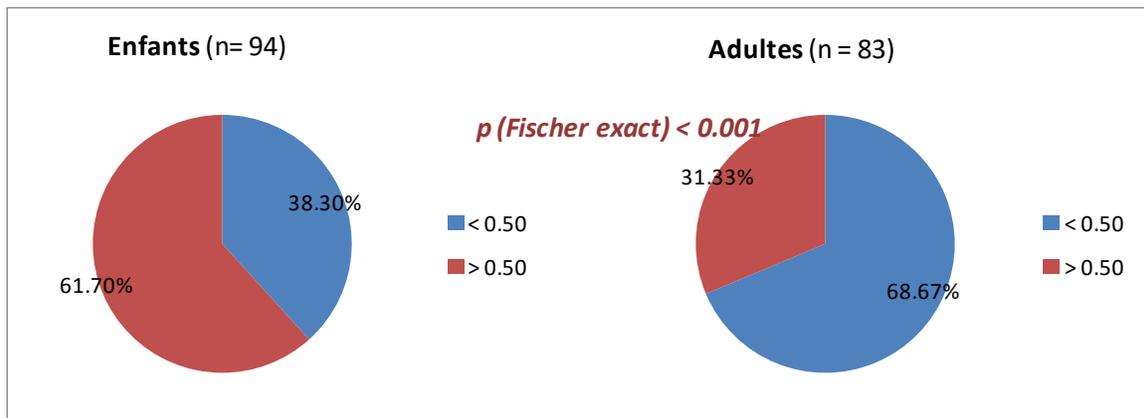


Figure III. 30 : Comparaison de la fréquence des rapports largeur antérieure/largeur totale chez les enfants et les adultes

2.2.3.2.4. Rapport Long ant/Long totale

Le rapport Long ant Long totale est significativement plus petit chez les adultes (0.28 ± 0.03 contre 0.32 ± 0.05 chez les enfants, $p < 0.001$) (Tableau III.31) traduisant une position plus

proche des extrémités antérieures des grandes cornes du point le plus antérieur du corps de l'os hyoïde. La valeur maximale chez les enfants est de 0.48 tandis qu'elle n'est chez les adultes que de 0.36.

Entre les tranches d'âges, il diminue continuellement (Tableau III.32) et présente une différence significative entre T1 et T4 (Tableau III.33).

De plus, ce rapport est significativement différent entre les deux sexes, que ce soit chez les enfants ou chez les adultes (*cf. supra* 2.2.3.1). Son évolution avec l'âge peut être différente en fonction du sexe si elle est étudiée indépendamment. Ces interactions entre les facteurs sexe et âge seront analysées par les ANCOVA et LOWESS ci-dessous.

2.2.3.3. Influence de la population

La comparaison entre les populations française et vietnamienne pour les variables morphologiques de l'os hyoïde est présentée dans le tableau III.35 pour les enfants et III.36 pour les adultes.

Dans l'ensemble, entre les enfants français et vietnamiens, il n'y a pas de différence significative pour les variables intéressant la morphologie de l'os hyoïde, à l'exception du rapport de la largeur antérieure à la largeur totale, qui est significativement plus grand chez les enfants français (Tableau III.35).

Entre les adultes des deux populations, la différence est significative pour le rapport largeur sur longueur ($p < 0.05$) et pour l'angle hyoïdien (Tableau III.36).

	Moyenne ± Ecart type		Dispersion		p Wilcoxon
	Enfants Fr (n= 60)	Enfants V (n=34)	Enfants Fr	Enfants V	
Hy Angle	65.1 ± 9.7	65.0 ± 6.8	40.6— 90.4	50.0 — 74.7	0.962
Angle GC	51.4 ± 16.0	50.8 ± 10.1	17.6 — 94.4	31.7 — 72.2	0.838
Rapport Larg totale/Long totale	1.29 ± 0.24	1.30 ± 0.18	0.74 — 2.02	0.96 — 1.74	0.923
Rapport Larg ant/Larg totale	0.54 ± 0.07	0.50 ± 0.07	0.42 — 0.72	0.39 — 0.65	0.004
Rapport Long ant/Long totale	0.32 ± 0.05	0.31 ± 0.05	0.21 — 0.48	0.21 — 0.41	0.241

Tableau III. 35 : Valeurs des variables morphologiques des deux échantillons d'enfants français et vietnamiens

	Moyenne ± Ecart type		Dispersion		p Wilcoxon
	Adultes Fr (n= 50)	Adultes V (n=33)	Adultes Fr	Adultes V	
Hy Angle	63.3 ± 8.4	59.7 ± 7.9	44.5 — 79.1	48.1 — 78.8	0.053
Angle GC	49.1 ± 10.2	45.4 ± 10.6	26.2 — 70.0	27.4 — 69.4	0.117
Rapport Larg totale/Long totale	1.25 ± 0.20	1.15 ± 0.20	0.82 — 1.65	0.82 — 1.64	0.028
Rapport Larg ant/Larg totale	0.48 ± 0.05	0.49 ± 0.06	0.38 — 0.60	0.40 — 0.66	0.251
Rapport Long ant/Long totale	0.28 ± 0.04	0.27 ± 0.03	0.22 — 0.36	0.21 — 0.34	0.256

Tableau III. 36 : Valeurs des variables morphologiques des deux échantillons adultes français et vietnamiens

Ci-dessous quelques observations plus détaillées pour chaque variable :

2.2.3.3.1. Rapport de la largeur sur la longueur.

Le rapport Larg totale/Long totale ne présente pas de différence significative entre les enfants des deux populations, les moyennes sont très proches : 1.29 pour les enfants français et 1.30 pour les enfants vietnamiens ($p = 0.92$). La répartition des différentes valeurs de ce rapport n'est pas non plus différente entre les enfants des deux populations (Figure III.31).

En revanche, chez les adultes, le rapport largeur/longueur est significativement plus grand chez les Français (Tableaux III.35 et III.36). L'échantillon français présente un pourcentage plus important d'os très larges (rapport > 1.5) et un pourcentage plus faible d'os étroits (ratio < 1). Le test exact de Fischer confirme la significativité de cette différence ($p = 0.046$).

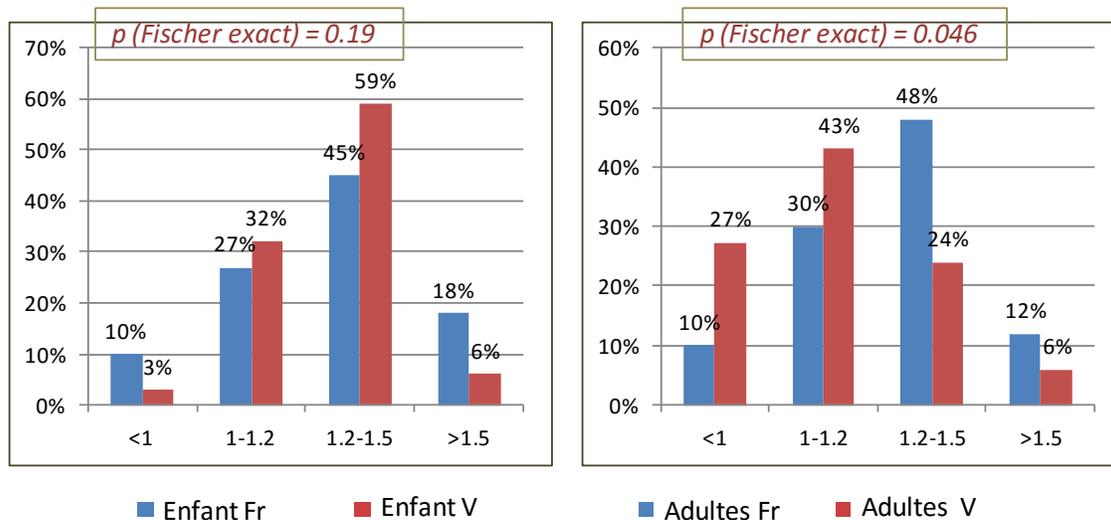


Figure III. 31 : Comparaison des différentes valeurs du rapport largeur/longueur dans les 2 échantillons français et vietnamiens d'enfants et d'adultes

2.2.3.3.2. Rapport de la largeur antérieure sur la largeur totale

Pour ce rapport, la différence est très significative entre les enfants ($p = 0.004$) et non significative entre les adultes des deux populations (Tableau III.35, III.36).

Le pourcentage des enfants ayant une valeur inférieure à 0.5 est significativement plus important chez les Français (73.33 % des enfants français contre 58.82 % des enfants vietnamiens, p Fischer exact = 0.007) (Figure III.32). En revanche, la fréquence des rapports < 0.5 n'est pas significativement différente (p Fischer exacte = 0.81) (Figure III.33) chez les adultes des deux populations.

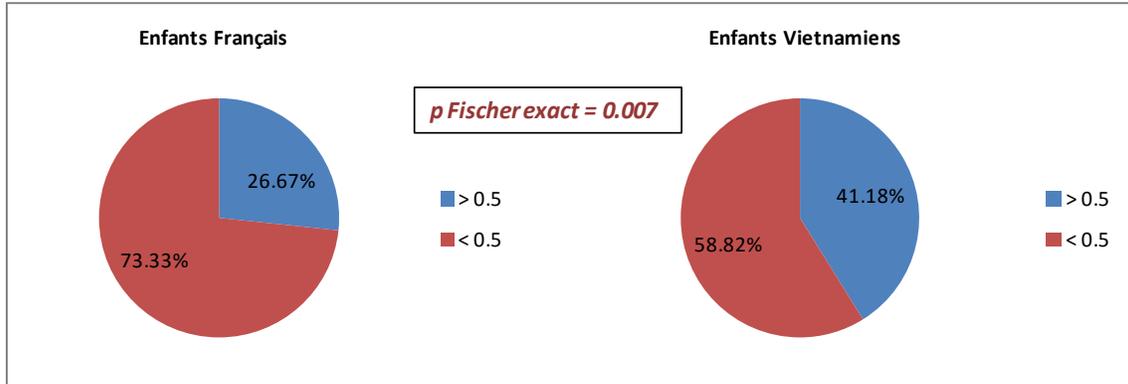


Figure III. 32 : Comparaison des fréquences des différentes valeurs du rapport largeur antérieure / largeur totale chez les enfants français et vietnamiens

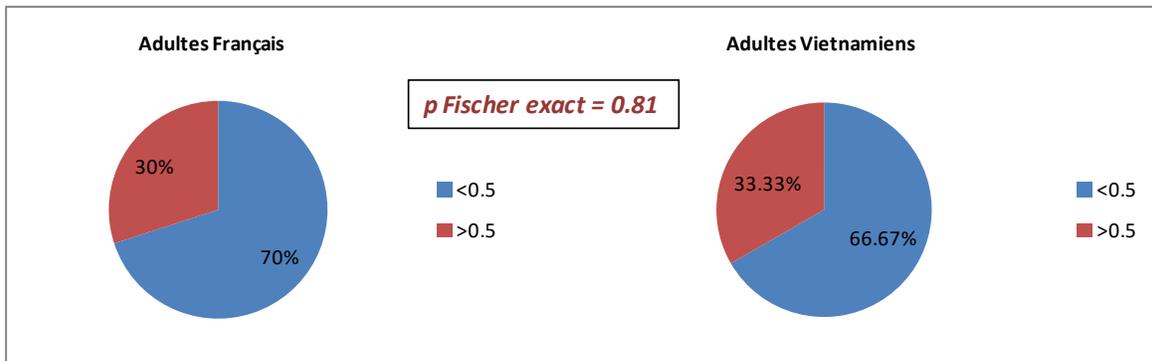


Figure III. 33 : Comparaison des fréquences des différentes valeurs du rapport largeur antérieure / largeur totale chez les adultes français et vietnamiens

2.2.3.3.3. Rapport de longueur antérieure sur longueur totale

Le rapport Long ant/Long totale n'est pas significativement différent entre les enfants ou les adultes des deux populations.

2.2.3.4. Analyses des ANCOVA et LOWESS

Les graphiques d'ANCOVA nous apportent plus d'informations sur l'influence de l'évolution des variables morphologiques de 7 à 16 ans pour les groupes d'enfants français ou vietnamien. Les graphiques de LOWESS présentent cette évolution jusqu'à l'âge adulte.

2.2.3.4.1. L'angle entre des grandes cornes

Les graphiques d'ANCOVA (Figure III.34) montrent que, chez les enfants français de 7 à 16 ans, l'angle entre deux grandes cornes diminue mais de façon plus importante chez les garçons

que chez les filles. Chez les Vietnamiens, cet angle diminue chez les garçons mais présente une tendance à augmenter chez les filles.

Entre les deux populations, la modification de l'angle entre deux grandes cornes est plus importante chez les garçons français.

Les graphiques LOWESS (Figure III.35) montrent que les modifications de l'angle hyoïde sont observées principalement durant la période de 7 à 16 ans. À l'âge adulte, il n'est pas différent entre femmes ou hommes, que ce soit dans la population française ou vietnamienne.

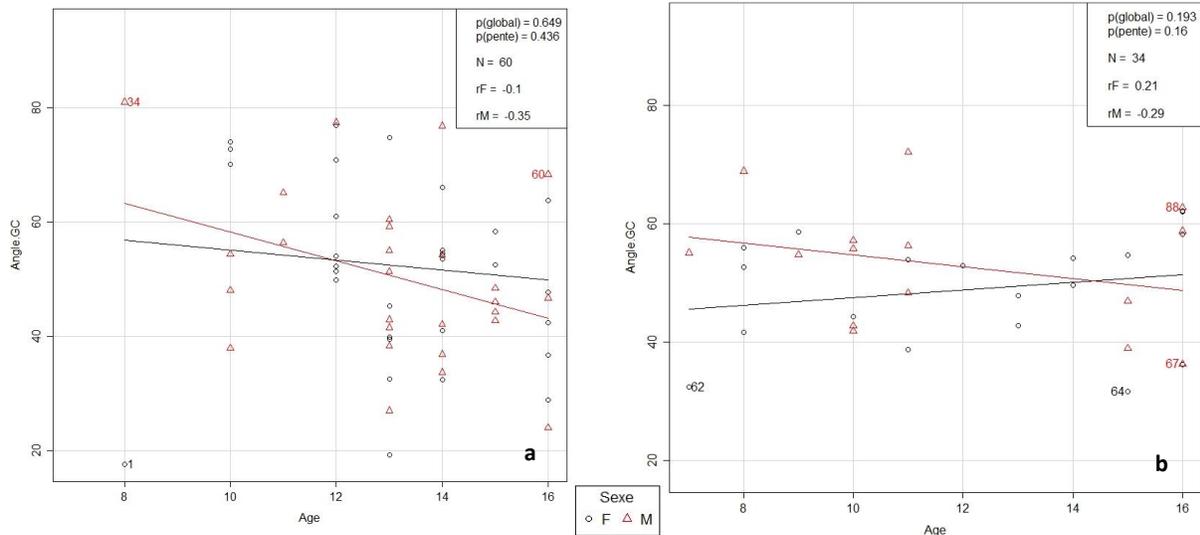


Figure III. 34 : ANCOVA de l'angle des grandes cornes chez les Français (a) et Vietnamiens (b)

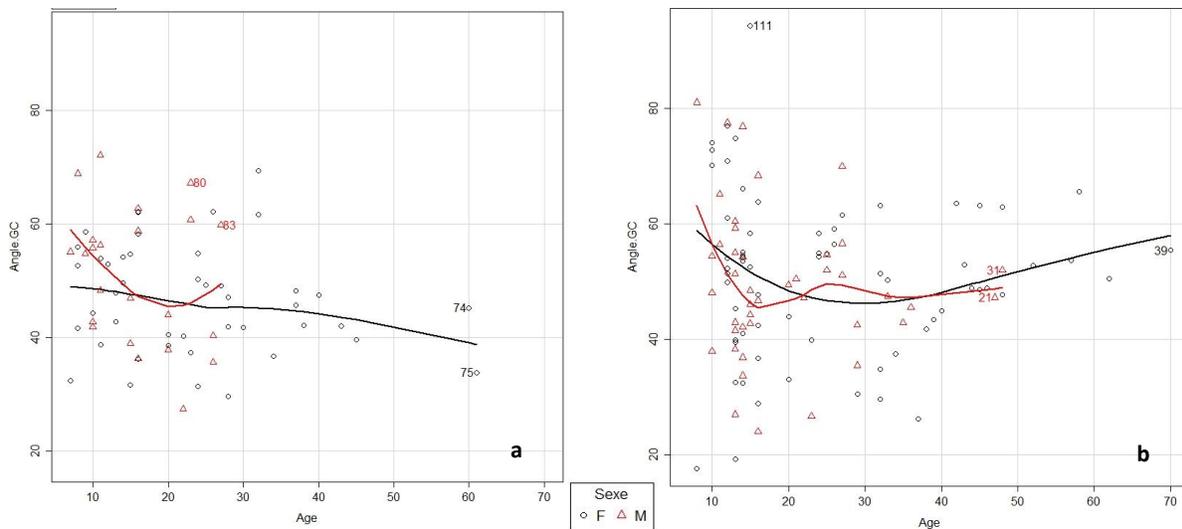


Figure III. 35 : LOWESS de l'angle des grandes cornes chez les Français (a) et Vietnamiens (b)

2.2.3.4.2 Rapport largeur totale sur longueur totale

Les graphiques d'ANCOVA (Figure III.36) montrent que dans l'ensemble, le rapport Larg totale/Long totale varie de façon plus importante chez les garçons (français ou vietnamien) que chez les filles (françaises ou vietnamiennes). Ce rapport ne se modifie pas chez les filles françaises ($r = -0.02$) et augmente légèrement chez les filles vietnamiennes ($r = 0.35$), tandis qu'il diminue considérablement chez les garçons.

Entre les garçons français et vietnamiens, la baisse du rapport est plus importante chez les français. Les filles des deux populations ne présentent pas de grandes différences pour ce rapport qui varie autour de 1.2-1.3.

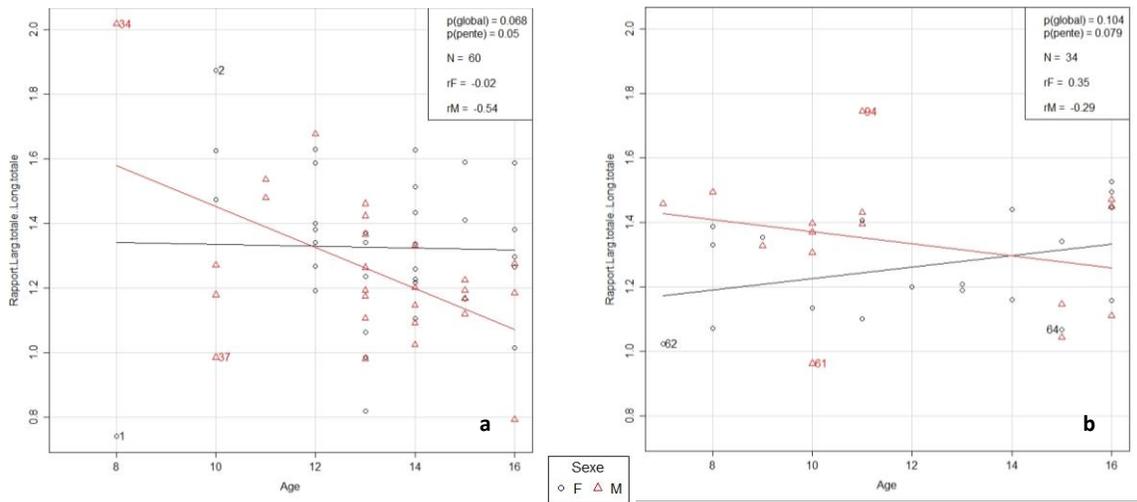


Figure III. 36 : ANCOVA de rapport Larg totale / Long totale chez les Français (a) et Vietnamiens (b)

- On peut observer dans les graphiques de LOWESS (Figure III.37) que le rapport largeur sur longueur continue à diminuer jusqu'à l'adulte mais avec une amplitude moins importante.

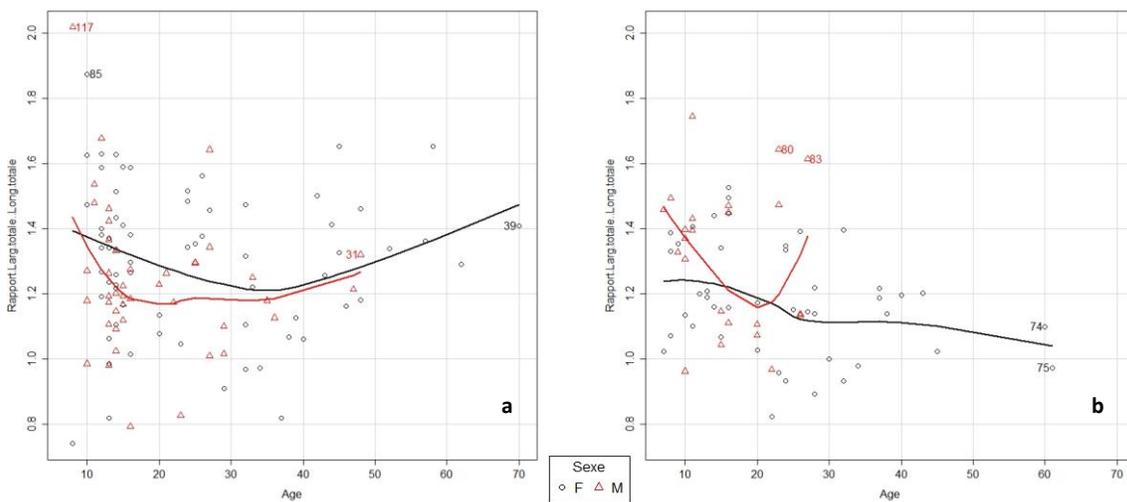


Figure III. 37 : LOWESS de rapport Larg totale / Long totale chez les Français (a) et Vietnamiens (b)

2.2.3.4.2. Rapport largeur antérieure sur largeur totale

De 7 à 16 ans, les graphiques ANCOVA (Figure III.38) montrent que ce rapport présente des modifications différentes entre les deux sexes et entre les deux populations.

Chez les Français, ce rapport ne change pas chez les filles mais augmente chez les garçons, contrairement aux Vietnamiens dont le rapport reste inchangé chez les garçons et diminue chez les filles.

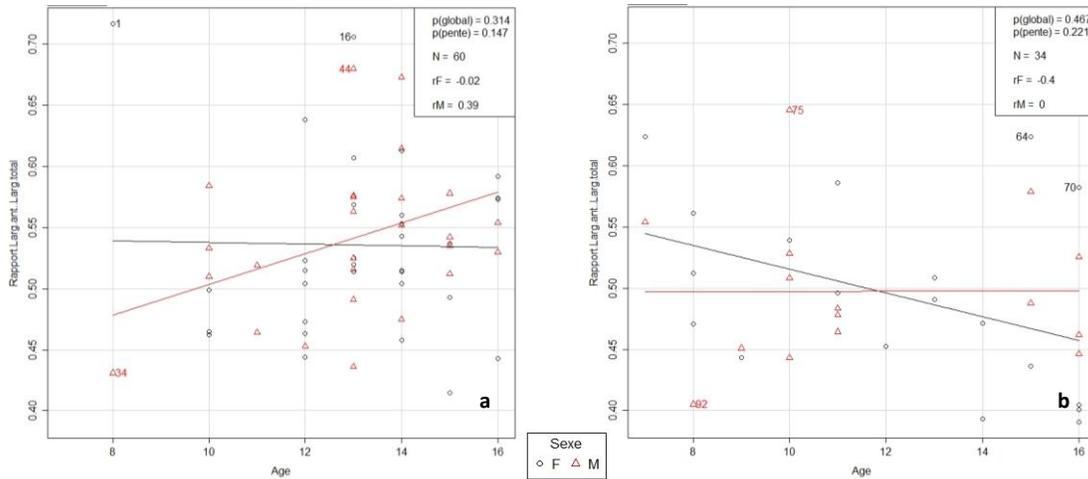


Figure III. 38 : ANCOVA de rapport Larg ant / Larg totale chez les Français (a) et Vietnamiens (b)

Le graphique de LOWESS (Figure III.39) montre que les filles françaises présentent un rapport Larg ant / Larg totale initialement proche des filles vietnamiennes (environ 0.5), mais qu'il augmente ensuite pour avoir une valeur plus grande vers 16 ans. Le rapport a ensuite diminué dans les deux populations et ne présente pas de différence apparente à l'âge adulte.

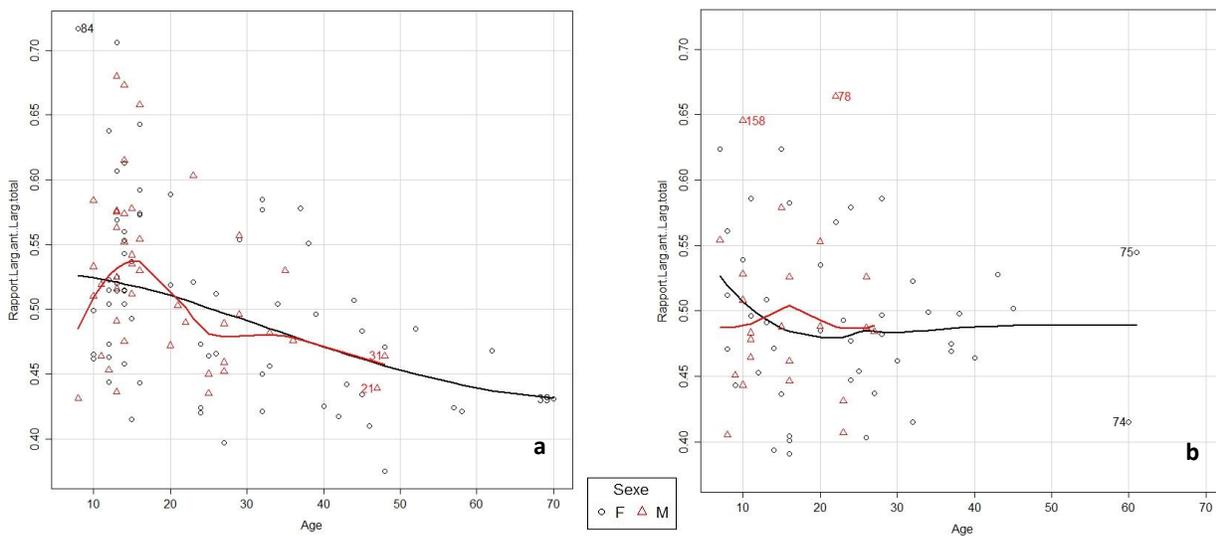


Figure III. 39 : LOWESS de rapport Larg ant / Larg totale chez les Français (a) et Vietnamiens (b)

2.2.3.4.3. Rapport longueur antérieure sur longueur totale

De 7 à 16 ans, les graphiques ANCOVA (Figure III.40) montrent que le rapport de longueur antérieure sur longueur totale diminue dans l'ensemble. Il diminue de façon plus importante chez les filles que chez les garçons des deux populations. Chez les filles vietnamiennes, cette diminution est très marquée (coefficient de corrélation $rF = -0.75$).

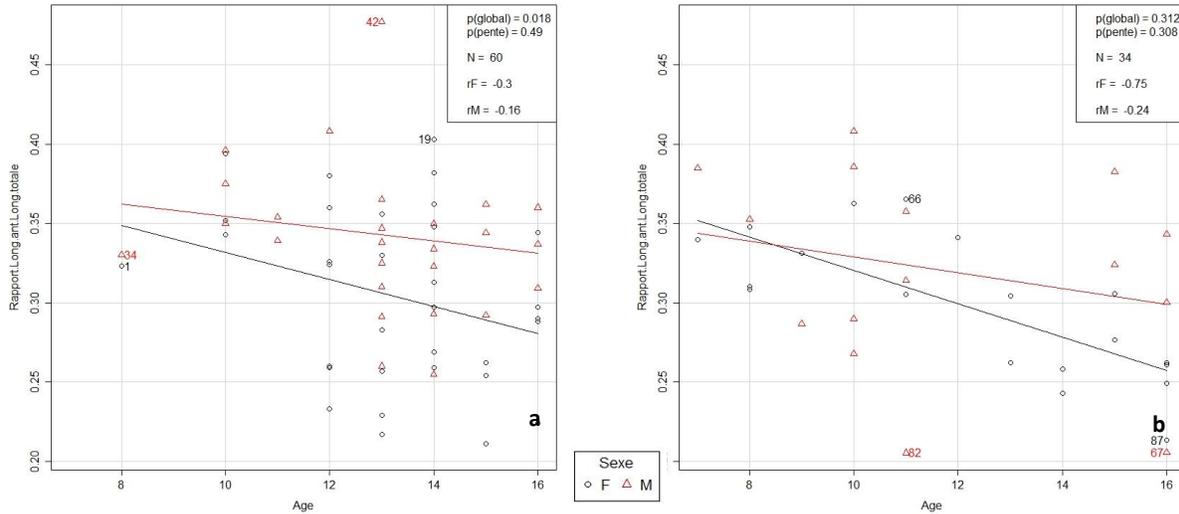


Figure III. 40 : ANCOVA de rapport Long ant / Long totale chez les Français (a) et Vietnamiens (b)

Quand nous incluons les sujets adultes pour des graphiques de LOWESS (Figure III.41), nous trouvons que le rapport Long ant/ Long totale présente des évolutions similaires entre les populations française et vietnamienne, avec une baisse de ce rapport plus marquée chez le sexe féminin.

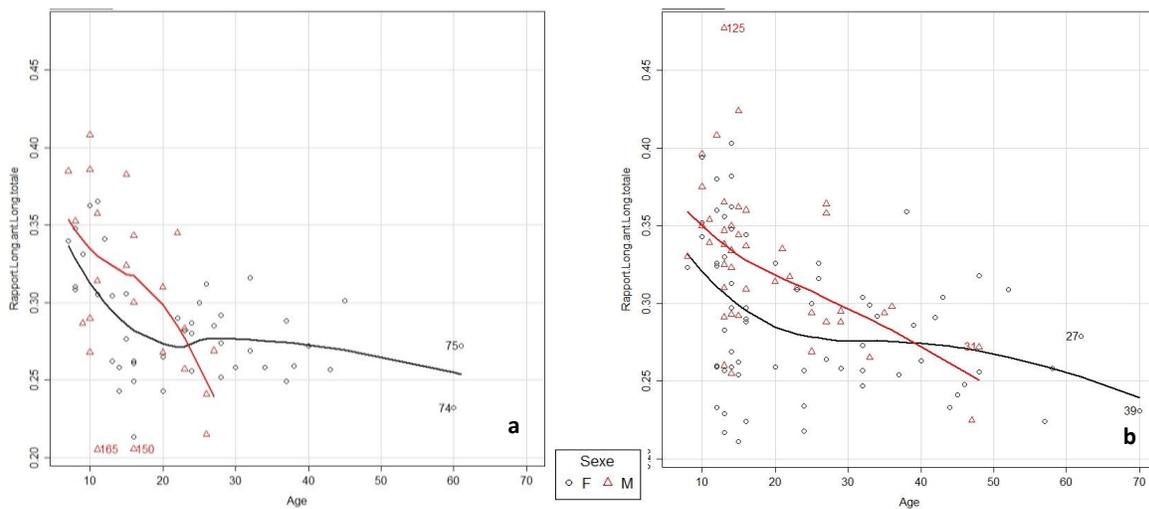


Figure III. 41 : LOWESS de rapport Long ant / Long totale chez les Français (a) et Vietnamiens (b)

2.2.4. Synthèse des résultats intéressant la morphologie de l'os hyoïde

En résumé, l'analyse des cinq variables décrivant la forme de l'os hyoïde montre une absence de différence de forme en fonction du sexe chez les enfants ou les adultes. En revanche, des modifications significatives de la forme de l'os hyoïde entre enfants et adultes sont observées, avec des rapports entre les largeurs antérieure et postérieure des grandes cornes et entre la largeur et la longueur totales plus petits chez les adultes, traduisant une forme plus divergente, plus longue. Ces modifications sont la conséquence d'une augmentation plus importante de la longueur. L'influence de la population est observée chez les adultes et chez les enfants. Les adultes français ont une fréquence plus importante d'os larges que les adultes vietnamiens, surtout les femmes. Chez les enfants, le rapport largeur antérieure/largeur totale est significativement plus grand pour les Vietnamiens, qui présentent alors des formes moins divergentes que les enfants français.

2.2.3. Asymétrie de l'os hyoïde.

Deux paires de variables s'intéressent à l'asymétrie de l'os hyoïde : les longueurs des grandes cornes (variable Long GCd pour le côté droit, Long GCg pour la grande corne gauche) et les longueurs latérales de l'os hyoïde, mesurées du point le plus antérieur de l'os hyoïde à l'extrémité postérieure de chaque grande corne, (variable Long lat d pour le côté droit et Long lat g pour le côté gauche) (Figure III.42). Si les variables Long GCd et Long GCg renseignent sur la présence ou non d'une inégalité de longueur entre les deux grandes cornes, les variables Long lat d ou Long lat g décrivent la divergence des extrémités postérieures des grandes cornes par rapport au point le plus antérieur du corps de l'os hyoïde. La position du corps de l'os hyoïde joue donc un rôle dans cette évaluation de l'asymétrie. Nous considérons que l'asymétrie est présente si la différence entre les côtés droit et gauche dépasse 10 % de la plus petite des deux mesures.

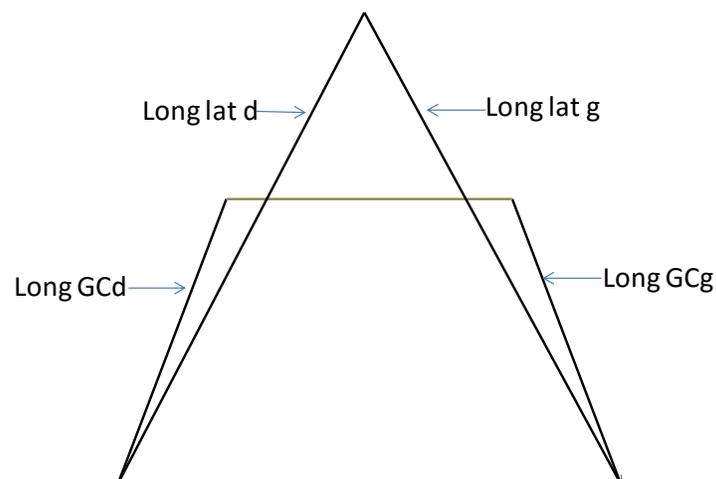


Figure III. 42 : Mesures de longueur des grandes cornes et longueur hyoïde pour l'évaluation de la symétrie

Le nombre de cas asymétriques dans notre échantillon total est présenté dans la figure III.43. Le taux d'asymétrie est faible : seuls 5.65 % des sujets présentent une asymétrie marquée de longueur des grandes cornes et 3.39 % présentent une asymétrie des longueurs latérales hyoïdiennes.

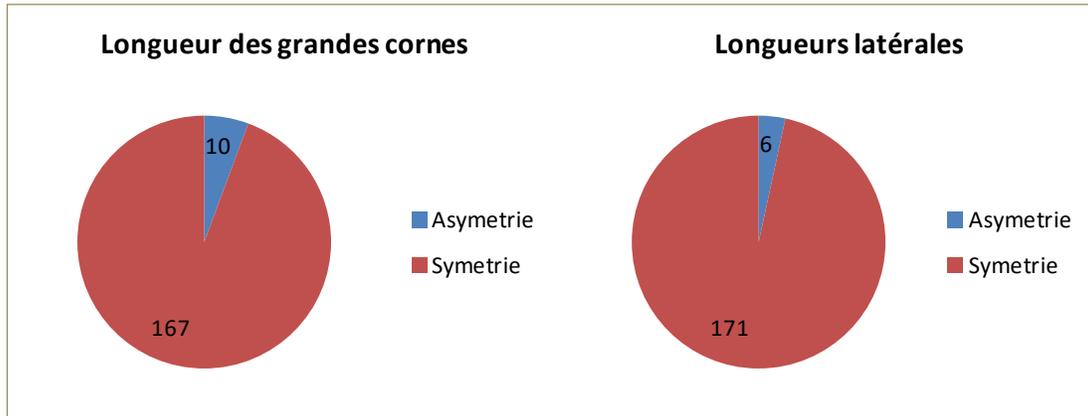


Figure III. 43 : Nombre d'asymétries des deux mesures de longueur dans l'échantillon total

Nous pouvons voir dans le graphique KDE (Kernel Density Estimation) (Figure III.44) que 90 % de la population présente une différence des longueurs des grandes cornes ou des longueurs latérales de l'os hyoïde inférieure à 2 mm, inférieure donc de 10 % de la valeur moyenne de la longueur des grandes cornes ou de 5 % de la longueur latérale de l'os hyoïde.

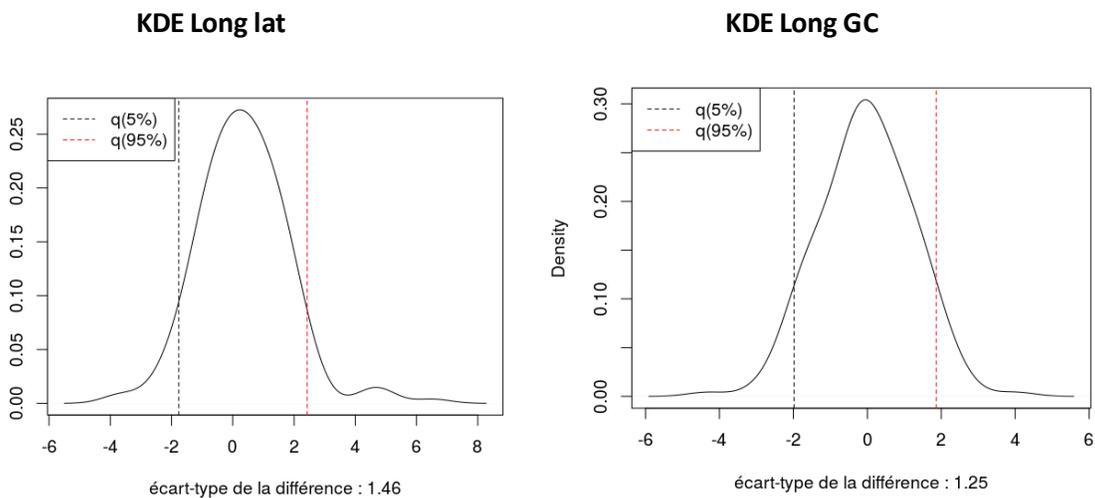


Figure III. 44 : Graphique de KDE pour les longueurs latérales de l'os hyoïde et les longueurs des grandes cornes

La fréquence d'observation d'une asymétrie ne diffère pas significativement chez les enfants et chez les adultes (Tableau III.37, p.149).

	Asymétrie de longueur des grandes cornes		Asymétrie de longueur latérale	
	Nombre	%	Nombre	%
Enfants (n = 94)	5	5.32	2	2.13
Adultes (n = 83)	5	6.02	4	4.82
Tous (n = 177)	10	5.65	6	3.39
test Fischer exact (enfants/adultes)	p = 0.88		p = 0.42	

Tableau III. 37 : Asymétrie de l'os hyoïde chez les enfants et adultes

Elle ne diffère pas non plus en fonction du sexe (Tableau III.38)

	Asymétrie de longueur des grandes cornes		Asymétrie de longueurs latérales	
	Nombre	%	Nombre	%
Féminin (n = 111)	6	5.41	4	3.06
Masculin (n = 66)	4	6.06	2	3.03
Tous (n = 177)	10	5.65	6	3.39
test Fischer exact (F/M)	p = 1		p = 1	

Tableau III. 38 : Asymétrie de l'os hyoïde en fonction du sexe

2.2.4. Fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde

2.2.4.1. Distribution des stades de fusion

Les stades de fusion et les abréviations respectives ont été décrits dans le chapitre méthode (cf. Chapitre II.2.2.3).

Le nombre de cas de fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde est rapporté dans le tableau III.39 ci-dessous.

	Hommes et Femmes			Femmes			Hommes		
	Fr	V	Total	Fr	V	Total	Fr	V	Total
Absence de fusion (A)	33	15	48	21	10	31	12	5	17
Fusion bilatérale (B)	9	5	14	6	4	10	3	1	4
Fusion complète unilatérale droite (Cud)	1	5	6	1	3	4	0	2	2
Fusion complète unilatérale gauche (Cug)	3	1	4	3	1	4	0	0	0
Fusion partielle unilatérale (Pu)	4	4	8	3	4	7	1	0	1
Fusion partielle bilatérale (Pb)	0	3	3	0	3	3	0	0	0
Total	50	33	83	34	25	59	16	8	24

Tableau III. 39 : Répartition des stades de fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde

Dans l'échantillon total, la présence d'une fusion complète unilatérale est rencontrée chez 20 individus sans préférence du côté droit ou gauche (12 os fusionnés à droite et 8 os fusionnés à gauche). Les pourcentages des différents stades de fusion dans l'échantillon total sont présentés dans la figure III.45.

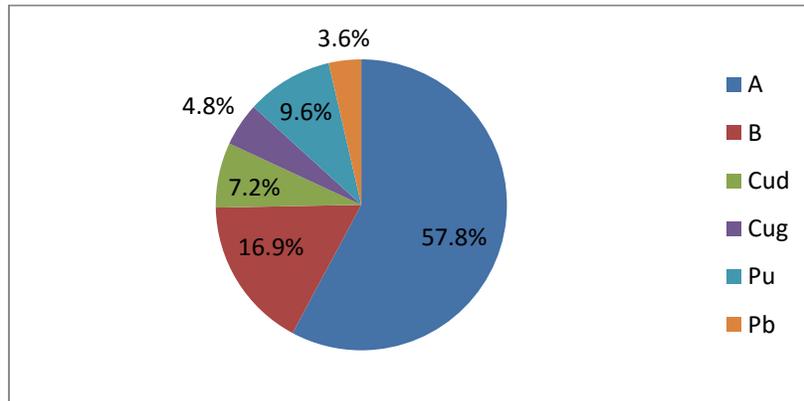


Figure III. 45 : Fréquences des différents stades de fusion dans l'échantillon total (n=83)

Chez les sujets adultes, l'analyse en fonction de l'âge rapportée dans les tableaux III.40 et III.41 ne révèle aucune différence significative entre les différents stades de fusion. Il n'y a pas d'âge déterminé pour la fusion de l'os hyoïde et les variations individuelles sont très importantes : nous observons le cas d'une femme de 70 ans où les deux grandes cornes ne sont pas soudées au corps de l'os hyoïde, et à l'opposé, un sujet présente une fusion complète bilatérale à l'âge de 20 ans.

Étape de fusion	Âge- Moyenne	Âge min	Âge max
A	31.90	20	70
B	37.93	20	61
Cud	34.83	23	60
Cug	30.75	24	48
Pu	31	24	38
Pb	38	32	45

Tableau III. 40 : Analyse descriptives des âges pour chaque stade de fusion

	A	p A/B	B	p B/Cu	Cu (Cud + Cug)	p A/Cu	P (Pu + Pb)	p Cu/P
Âge - moyenne	31.90		37.93		33.2		32.91	
Âge min	20	0.10	20	0.40	23	0.75	24	0.95
Âge max	70		61		60		45	

Tableau III. 41 : Comparaison des âges pour les différents stades de fusion par le test t de Student

Le tableau III.42 présente la répartition des différents stades de fusion par tranches d'âge. L'absence de fusion correspond à la situation de la majorité des jeunes adultes de 20 à 29 ans (64.3%) et la fusion bilatérale complète est présente chez 11.9 % des individus de cette tranche d'âge. Pour le groupe des sujets de 30 à 39 ans, le taux de fusion bilatérale n'est pas plus élevé que chez les plus jeunes de 20-29 ans mais le taux de fusion partielle a augmenté à 25 %. Dans le groupe plus âgé de 40 à 49 ans, le taux de fusion bilatérale a augmenté considérablement de 11.9 % à 35.7 %. Quand nous comparons par le test de Fischer la présence de fusion dans les deux groupes d'âge, 20-29 ans et 40-49 ans (Tableau III.43), cette augmentation de fréquence n'est pas significative.

Le nombre des individus dans les tranches d'âges de plus de 50 ans dans notre échantillon est très limité, seulement 7 individus dont 2 présentent une fusion complète bilatérale, 1 fusion complète unilatérale et 4 individus ayant l'absence de fusion, ce qui ne nous permet pas d'interpréter sans risque de biais.

	A		B		Cu (Cud + Cug)		P (Pu + Pb)	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
20-29 ans (n = 42)	27	64.3%	5	11.9%	7	16.7%	3	7.1%
30-39 ans (n = 20)	11	55%	2	10%	0	0%	7	35%
40-49 ans (n = 14)	6	42.9%	5	35.7%	2	14.3%	1	7.1%
50-59 ans (n = 3)	2	67%	1	33%	0	0%	0	0%
> 60 ans (n = 4)	2	50%	1	25%	1	25%	0	0%
Total								

Tableau III. 42 : Répartition des stades de fusion dans chaque tranche d'âge de l'échantillon total

	A	B	Cu + P
20-29 ans (n = 42)	27	5	10
40-49 ans (n = 14)	6	5	3
Test de Fischer	p = 0.148		

Tableau III. 43 : Comparaison de fréquence de fusion entre deux groupes d'âge 20-29 ans et 40-49 ans.

2.2.4.2. Influence du sexe

Les histogrammes de répartition des stades de fusion en fonction du sexe sont présentés dans la figure III.46.

Pour les hommes ou pour les femmes, environ 17 % de l'échantillon présentent une fusion bilatérale complète. 71 % des hommes et 53 % des femmes présentent une absence de fusion. La fusion complète unilatérale est observée dans 13.56 % des femmes (avec répartition

équivalente entre les côtés droit et gauche). La fusion partielle unilatérale est présente chez 11.86 % des femmes et 4.17 % des hommes et la fusion partielle bilatérale n'est observée que chez 5.08 % des femmes et aucun homme.

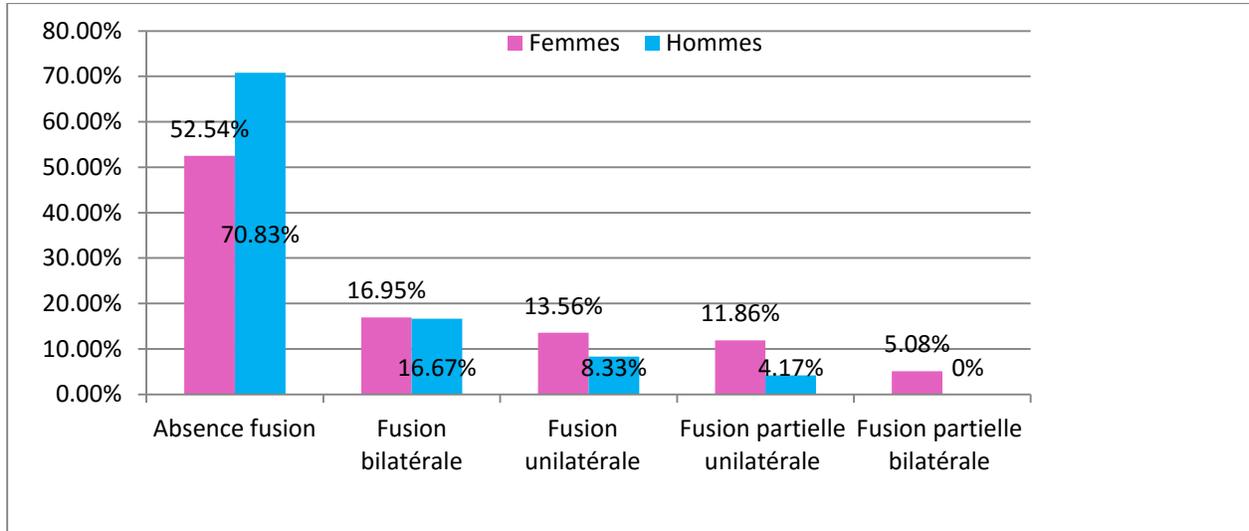


Figure III. 46 : Fréquence des différents stades de fusion chez les femmes et les hommes

On peut observer également dans notre échantillon une répartition non équilibrée de femmes et d'hommes dans les tranches d'âge, il n'y a pas d'hommes de plus de 50 ans et seulement 2 hommes entre 40-49 ans.

Si nous comparons sur l'échantillon sans les individus plus de 40 ans, les fréquences des stades de fusion entre les deux sexes ne sont pas significativement différentes.

	Femmes		Hommes	
	Nombre	Pourcentage	Nombre	Pourcentage
A	22	55%	16	73%
B	5	13%	2	9%
Cu	6	15%	3	14%
P	7	18%	1	5%
Total	40	100%	22	100%
Test de Fischer	p = 0.467			

Tableau III. 44 : Comparaison des fréquences des stades de fusions entre hommes et femmes de 20 à 39 ans

Les âges moyens, minimaux et maximaux des différents stades de fusion des grandes cornes chez les femmes et chez les hommes sont rapportés dans le tableau III.45 (p.153) ci-dessous.

Stade de fusion	Nombre		Âge moyen		Dispersion de l'âge	
	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes
A	31	17	34.5	27.1	20 – 70	20 – 48
B	10	4	39.7	33.5	20 – 61	25 – 47
Cud	4	2	40	24.5	25 – 60	23 – 26
Cug	4	0	30.8	0	24 – 48	
Pu	7	1	31.7	27	24 – 38	27 – 27
Pb	3	0	38	0	32 – 45	
Total	59	24	35.3	28.0	20 – 70	20 – 48

Tableau III. 45 : Stades de fusion de l'os hyoïde selon l'âge chez les femmes et chez les hommes.

Il est difficile de comparer l'âge de fusion entre les deux sexes, car la répartition des âges dans ces deux groupes est significativement différente ($p < 0.01$). Dans l'échantillon féminin, nous avons des sujets plus âgés que dans l'échantillon masculin : les femmes ont en moyenne 35 ans avec un âge maximal de 70 ans, tandis que pour les hommes, l'âge moyen est de 28 ans avec un maximum de 48 ans. Ainsi, pour les stades de fusion partielle ou fusion unilatérale, le nombre insuffisant de sujets masculins (1 sujet présentant une fusion partielle et 2 sujets une fusion unilatérale) ne permet pas l'application d'un test de comparaison.

En limitant l'échantillon à des âges moins de 50 ans, quelques observations concernant l'âge de fusion dans les deux sexes peuvent être décrites ci-dessous :

Âge de la fusion bilatérale

La fusion bilatérale complète est observée chez 9 femmes et 3 hommes de 20 à 49 ans. Sa répartition dans les tranches d'âge 20-29 ans, 30-39 ans, 40-49 ans n'est pas différente entre les hommes et les femmes (Figure III.47).

Il faut signaler également que la fusion complète bilatérale est observée chez un homme de 20 ans.

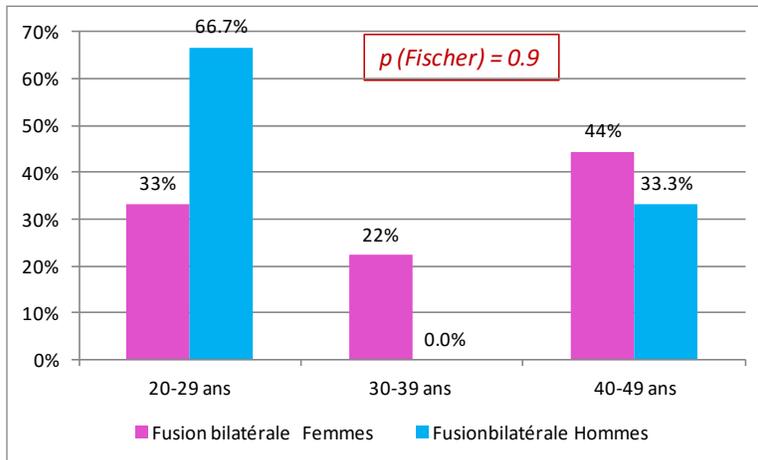


Figure III. 47 : Comparaison des fréquences de la fusion bilatérale en fonction de l'âge chez les femmes et les hommes.

Âge de l'absence de fusion

Parmi les 27 femmes et 17 hommes de 20 à 49 ans dont les grandes cornes ne sont pas fusionnées au corps, 76 % des hommes et 52 % des femmes sont dans la tranche d'âge de 20 à 29 ans (Figure III.48). L'absence de fusion est observée chez des femmes dans les âges plus avancés avec un pourcentage plus élevé, mais cette différence n'est pas significative ($p = 0.46$).

Dans l'échantillon total, une absence de fusion est observée chez une femme de 70 ans.

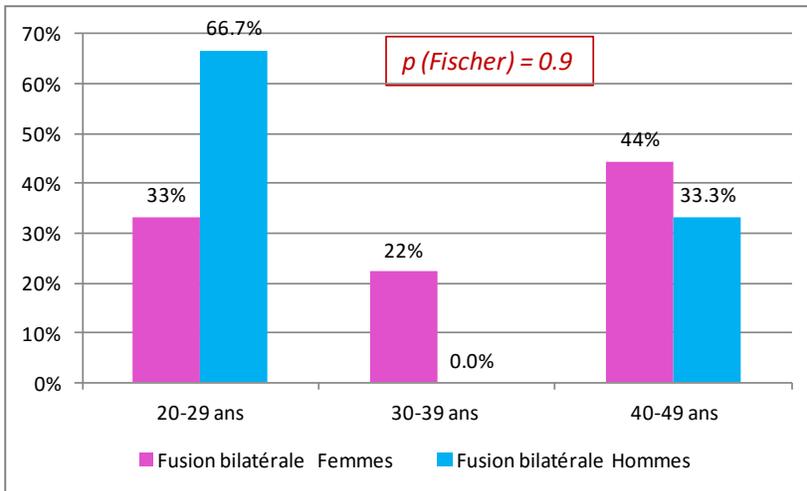


Figure III. 48 : Absence de fusion en fonction de l'âge chez les femmes et les hommes de 20 à 39 ans.

2.2.4.3. Influence de la population sur la fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde

Le tableau III.46 présente les stades de fusion des grandes cornes par âge dans les deux populations.

	Absence fusion (A)		Fusion bilatérale (B)		Fusion unilatérale (Cu)		Fusion partielle (P)	
	Fr	V	Fr	V	Fr	Vi	Fr	V
20-29 ans	16	11	2	3	2	5	2	1
30-39 ans	9	2	1	1	0	0	2	5
40-49 ans	4	2	5	0	2	0	0	1
50-59 ans	2	0	1	0	0	0	0	0
>60 ans	2	0	0	1	0	1	0	0
Total	33	15	9	5	4	6	4	7
Âge moyen	34.15	26.93	38.89	34.4	36.8	30.8	29.5	34.9

Tableau III. 46 : Stades de fusion par tranche d'âge dans les populations française (Fr) ou vietnamienne (V)

Ici, une répartition non-équilibrée des sujets entre les deux populations est observée. Chez les sujets vietnamiens, la quasi-totalité des individus est comprise entre 20 et 39 ans, il y a seulement 2 sujets plus de 60 ans. La comparaison ne pourra être menée que pour l'échantillon de 20 à 39 ans.

Quelques observations dans l'échantillon total :

- Dans la population française, une fusion complète est observée chez plus de sujets de 40-49 ans que dans les tranches d'âge plus jeunes (5/11 sujets de 40-49 ans contre 1/10 sujets de 30-39 ans et 2/22 sujets de 20-29 ans).
- La tranche d'âge de plus de 60 ans présente 2 femmes françaises et 2 femmes vietnamiennes. Les deux femmes françaises présentent une absence de fusion, tandis que chez les deux femmes vietnamiennes, l'une présente une fusion complète, l'autre présente une fusion partielle.

Quelques observations dans l'échantillon limité à moins de 50 ans :

Les stades de fusion observés chez les sujets de moins de 40 ans dans les deux populations sont présentés dans la figure III.49. La population française présente une fréquence plus élevée d'os hyoïdes non fusionnés (73.5 %) et une fréquence plus faible d'os hyoïde complètement fusionné (8.8 %) que la population vietnamienne (46.4 % et 14.3 % respectivement), mais cette différence n'est pas statistiquement significative.

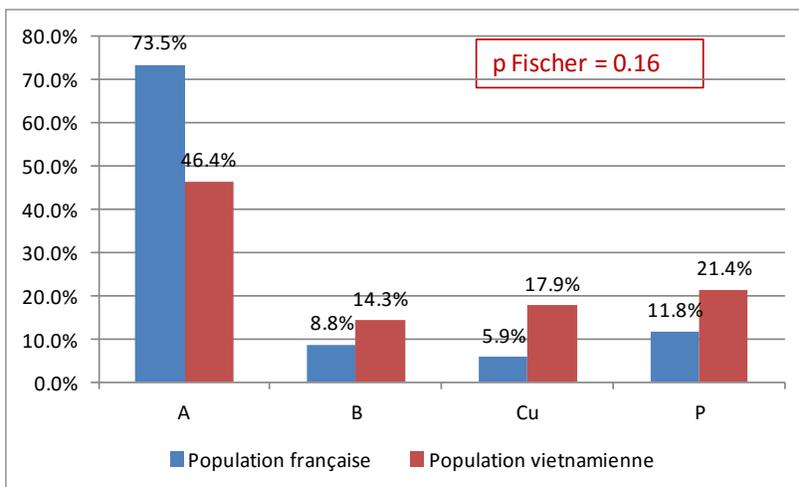


Figure III. 49 : Répartition des différents stades de fusion chez les sujets de 20 à 39 ans dans les deux populations

2.2.4.4. Synthèse sur la fusion des grandes cornes

En résumé, l'analyse de la fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde révèle qu'il s'agit d'un phénomène biologique présentant des variations individuelles importantes : cette fusion peut débuter dès 20 ans mais elle peut aussi être absente à l'âge de 60 ans. La fusion chez les personnes de plus de 50 ans n'est pas significativement plus fréquente que chez les plus jeunes de 20-29 ans. La fusion semble plus tardive chez les femmes, mais cette observation ne peut être confirmée par les tests statistiques. L'influence du facteur population ne peut être démontrée à cause du faible effectif de l'échantillon étudié.

2.3. Relations entre les dimensions et la morphologie de l'os hyoïde et celles des VAS

2.3.1. Restriction de l'échantillon étudié

2.3.1.1. Retrait des sujets présentant des critères de non inclusion

Comme nous l'avons détaillé dans le chapitre Matériels et méthodes (*cf.* chapitre II.1.1.1), pour l'étude des corrélations entre les VAS, l'os hyoïde et la typologie faciale, nous devons éliminer tous les sujets porteurs d'appareils multi-attaches et ceux présentant des édentations étendues susceptibles de modifier la dimension verticale faciale. Après vérification, 44 sujets adultes français, 33 sujets adultes vietnamiens, 48 sujets enfants français et 34 sujets enfants vietnamiens répondent aux critères d'inclusion et sont retenus pour cette analyse.

2.3.1.2. Retrait des sujets présentant des valeurs aberrantes

Les premières analyses descriptives des variables des VAS montrent une dispersion importante des valeurs, avec un écart important entre la valeur minimale et la valeur maximale. Nous avons donc procédé à une recherche des valeurs aberrantes qui pourraient biaiser les résultats.

Les *boxplots* permettent de visualiser la ou les valeurs isolées trop éloignées de la moyenne. Les nuages de points permettent de repérer le (ou les) sujet(s) ayant cette valeur et de la valider avec les autres valeurs du même échantillon.

Chez les adultes, 3 variables présentent des valeurs aberrantes dans les *boxplots* : le volume de l'oropharynx, la longueur de la coupe intermédiaire et la largeur de la coupe inférieure. Nous illustrons ici la procédure utilisée avec l'exemple du volume de l'oropharynx (Figure III.50).

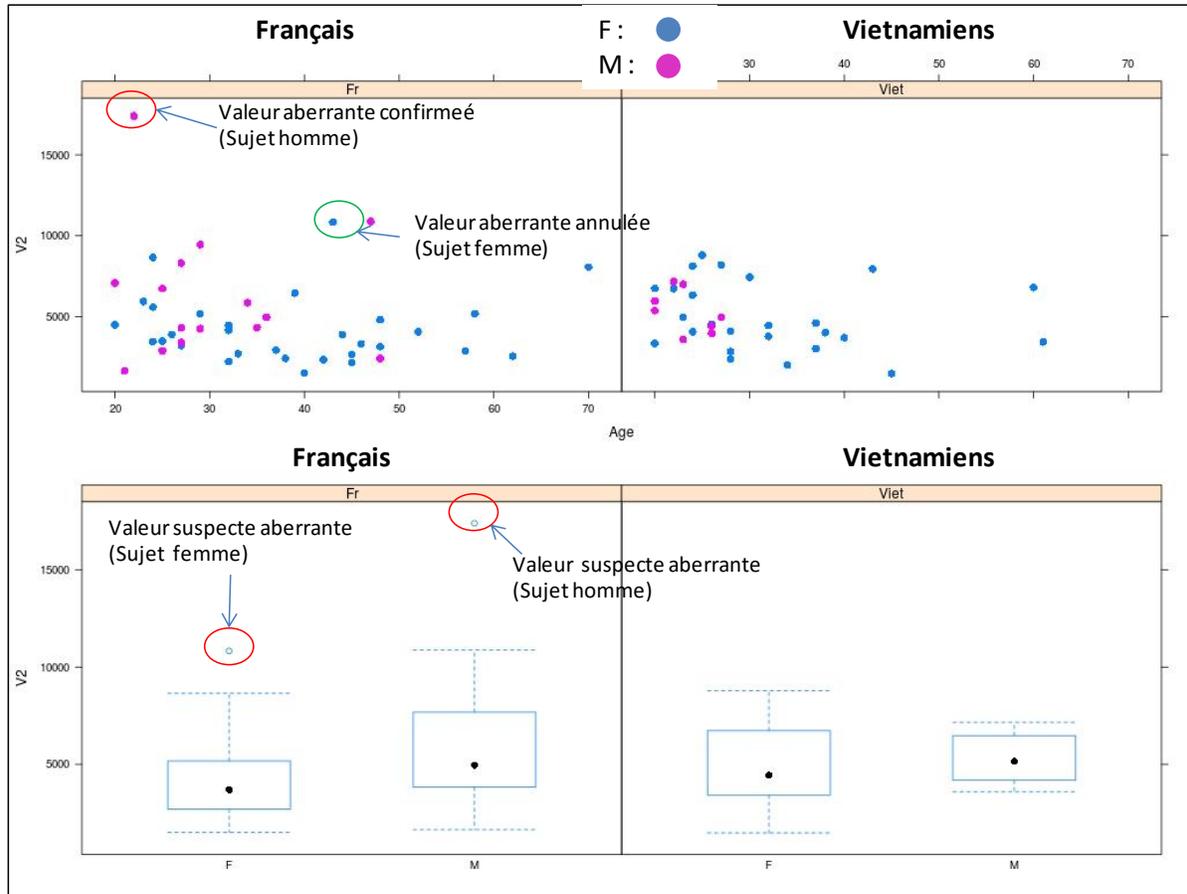


Figure III. 50 : "Boxplots" et nuages de points montrant les valeurs et les sujets aberrants de la variable volume oropharynx

Le *boxplot* (Figure III.50) révèle deux valeurs anormalement élevées dans les échantillons masculins et féminins français, ces deux individus sont repérés dans le nuage de points (présenté au-dessus des *boxplots*) chez un homme de 29 ans et une femme de 45 ans. Le nuage de points montre également que seule la valeur du sujet masculin est réellement hors de la série, la valeur du sujet féminin reste aux alentours des valeurs de l'échantillon. La vérification des mesures de ces deux sujets confirme l'absence d'une erreur de saisie, le sujet masculin est donc exclu de l'échantillon.

La même procédure est appliquée pour toutes les variables des VAS. Nous avons au final exclu de l'analyse 2 sujets adultes et 9 enfants présentant des valeurs aberrantes.

Les figures III.51 et III.52 résument le nombre de sujets exclus et le nombre de sujets retenus dans l'analyse finale.

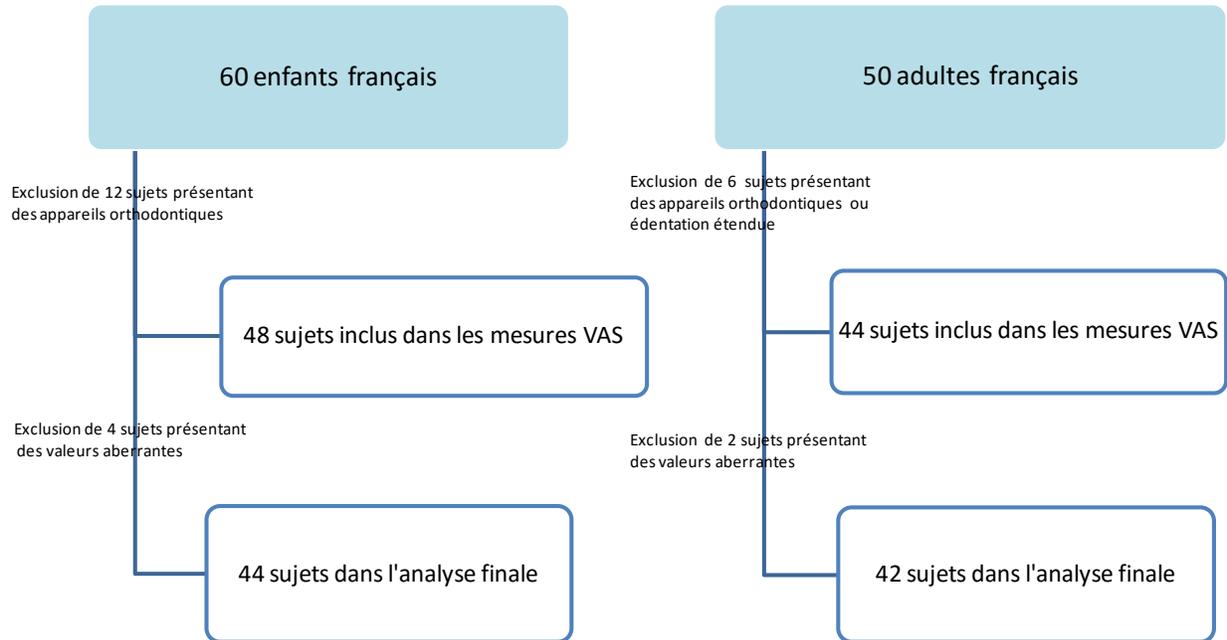


Figure III. 51 : Sélection de l'échantillon français pour l'étude des VAS

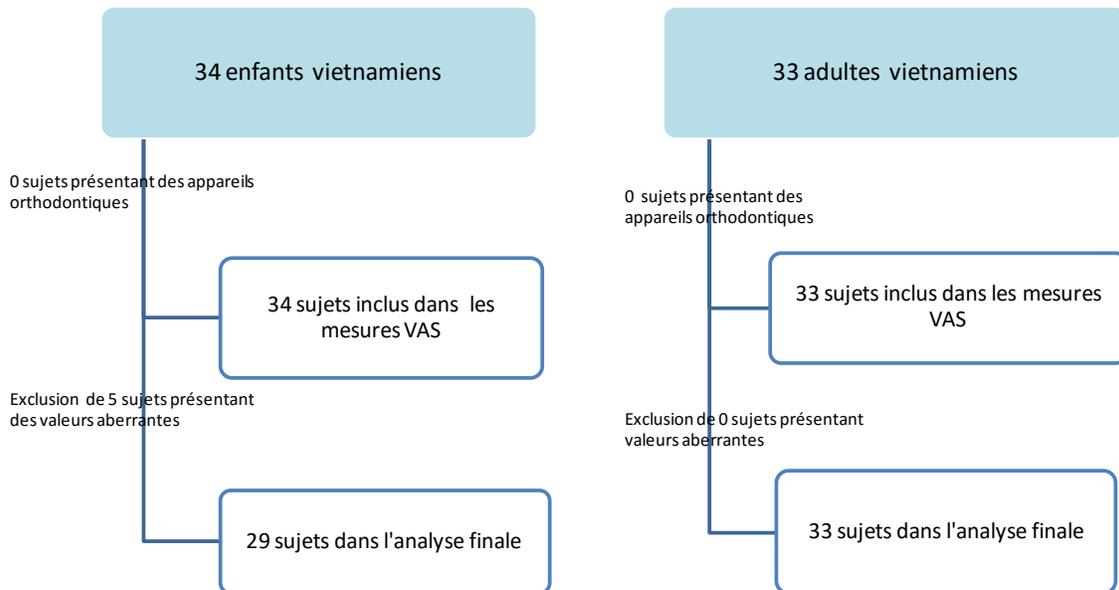


Figure III. 52 : Sélection de l'échantillon vietnamien pour l'étude des VAS

2.3.2. Caractéristiques dimensionnelles des VAS

Le nombre des variables dimensionnelles des VAS mesurées est important, 18 au total, recouvrant des variables de volume, de surface et de distance. Pour faciliter le suivi des résultats, tous les tableaux des dimensions ainsi que les commentaires sont présentés dans l'ordre suivant :

- en premier, les variables de volume, avec successivement le volume total, le volume du nasopharynx et le volume de l'oropharynx ;
- ensuite, les variables de surface des coupes : successivement de haut en bas les surfaces de la coupe supérieure, de la coupe intermédiaire, de la coupe inférieure et de la coupe la plus petite ;
- puis les variables de hauteur des VAS : hauteur totale, hauteur du nasopharynx, hauteur de l'oropharynx ;
- finalement, les variables de longueur puis de largeur des coupes, en respectant le même ordre que précédemment pour les surfaces.

Les quatre variables de forme des VAS qui sont les rapports largeur/longueur des 4 coupes sont présentées aussi selon le même ordre : coupe supérieure, coupe intermédiaire, coupe inférieure et coupe minimale.

Seules les variables qui présentent des résultats significatifs seront commentées en respectant toujours l'ordre précédent.

2.3.2.1. Analyses descriptives

Le tableau III.47 présente les résultats de l'analyse descriptive des variables (moyenne, écart-type, valeurs minimale et maximale) des VAS chez les enfants et chez les adultes.

	Moyenne		Dispersion	
	Enfants (n = 73)	Adultes (n = 75)	Enfants (n = 73)	Adultes (n = 75)
V total (mm ³)	10721 ± 3236.2	13881.9 ± 4817.3	4900.3 – 18135.3	5659.2 – 30671.1
V naso (mm ³)	6813.8 ± 2096.1	8922.3 ± 3041.6	2591.4 – 11373.8	3333.4 – 15891.5
V oro (mm ³)	3889.1 ± 1689.1	4954.8 ± 2561.8	1135.0 – 8309.4	1473.1 – 17399.6
S Cs (mm ²)	404.2 ± 117.8	563.2 ± 143.6	159.0 – 744.8	244.1 – 925.1
S Cm (mm ²)	223.1 ± 71.5	268.1 ± 118.3	96.8 – 388.4	71.2 – 656.9
S Ci (mm ²)	270.7 ± 86.2	319.9 ± 108.0	114.3 – 485.0	104.9 – 609.5
S Cmin (mm ²)	183.4 ± 59.5	209.2 ± 93.8	76.4 – 312.0	57.2 – 436.7
H totale (mm)	41.1 ± 5.3	45.5 ± 6.0	31.2 – 53.1	33.6 – 57.0
H naso (mm)	25.0 ± 3.8	28.3 ± 4.6	12.3 – 33.0	18.9 – 42.3
H oro (mm)	16.1 ± 4.6	17.3 ± 4.7	7.2 – 29.9	9.3 – 30.3

Tableau III. 47 : Analyse descriptive des dimensions des VAS

Tableau III.47a : Variables de volumes, de surfaces et de hauteurs des VAS

	Moyenne		Dispersion	
	Enfants (n = 73)	Adultes (n = 75)	Enfants (n = 73)	Adultes (n = 75)
Long Cs (mm)	15.6 ± 3.7	19.5 ± 3.5	5.8 — 23.5	9.5 — 27.5
Long Cm (mm)	10.7 ± 2.4	10.9 ± 3.1	5.8 — 15.3	5.1 — 18.5
Long Ci (mm)	12.0 ± 2.6	12.6 ± 3.3	5.7 — 17.9	6.4 — 21.3
Long Cmin (mm)	9.4 ± 2.6	9.1 ± 3.1	3.5 — 17.0	2.9 — 16.2
Larg Cs (mm)	24.8 ± 3.8	27.5 ± 4.0	11.4 — 34.0	15.6 — 36.4
Larg Cm (mm)	20.7 ± 5.5	23.1 ± 6.7	8.8 — 30.5	6.8 — 38.7
Larg Ci (mm)	25.9 ± 4.5	28.0 ± 4.6	15.3 — 35.2	11.2 — 40.3
Larg Cmin (mm)	21.3 ± 5.8	23.7 ± 6.4	7.9 — 31.8	6.1 — 38.6

Tableau III.47 b : Variables de de longueur et largeur des coupes

2.3.2.2. Influence des facteurs biologiques sur les dimensions des VAS

2.3.2.2.1. Influence du sexe

a. Chez les adultes :

Les hommes ont des valeurs plus grandes que les femmes pour toutes les dimensions des VAS, exceptée la surface de la coupe supérieure. La différence n'est cependant significative que pour les variables hauteur totale, hauteur du nasopharynx et largeur de la coupe inférieure des VAS (Tableau III.48).

Variables	Moyenne ± Écart-type		Dispersion		p Wilcoxon
	Femmes (n = 53)	Hommes (n = 22)	Femmes (n = 53)	Hommes (n = 22)	
V total (mm ³)	13233.8 ± 4425.0	15472.7 ± 5452.5	5659.2 — 22629.2	8503.1 — 30671.1	0.141
V naso (mm ³)	8600.7 ± 3013.8	9711.5 ± 3032.9	3333.4 — 15891.5	5443.9 — 15776.4	0.19
V oro (mm ³)	4626.3 ± 2118.7	5761.2 ± 3339.4	1473.1 — 10831.7	1645.0 — 17399.6	0.093
S Cs (mm ²)	574.2 ± 157.6	536.3 ± 99.7	244.1 — 925.1	418.8 — 729.6	0.267
S Cm (mm ²)	261.5 ± 110.5	284.3 ± 137.0	71.2 — 534.0	108.0 — 656.9	0.801
S Ci (mm ²)	306.7 ± 106.3	352.4 ± 107.5	104.9 — 591.9	135.0 — 609.5	0.096
S Cmin (mm ²)	207.2 ± 94.8	214.4 ± 93.3	62.8 — 436.7	57.2 — 391.6	0.735
H totale (mm)	44.0 ± 4.9	49.3 ± 6.8	35.0 — 55.2	33.6 — 57.0	0.001
H naso (mm)	27.3 ± 4.1	30.6 ± 5.1	18.9 — 36.3	20.7 — 42.3	0.015
H oro (mm)	16.8 ± 4.5	18.6 ± 4.9	9.3 — 25.3	11.8 — 30.3	0.099
Long Cs (mm)	19.5 ± 3.8	19.5 ± 2.6	9.5 — 27.5	11.6 — 23.0	0.9
Long Cm (mm)	10.6 ± 2.9	11.7 ± 3.4	5.1 — 17.7	5.1 — 18.5	0.08
Long Ci (mm)	12.3 ± 3.2	13.6 ± 3.6	6.4 — 19.9	7.7 — 21.3	0.141
Long Cmin (mm)	8.8 ± 3.1	9.7 ± 3.3	2.9 — 16.2	3.3 — 14.8	0.257
Larg Cs (mm)	27.4 ± 4.3	27.8 ± 3.4	15.6 — 36.4	18.3 — 33.6	0.689
Larg Cm (mm)	23.1 ± 6.5	23.1 ± 7.2	8.1 — 38.7	6.8 — 38.0	0.918
Larg Ci (mm)	27.2 ± 4.6	30.0 ± 4.1	11.2 — 34.2	21.5 — 40.3	0.021
Larg Cmin (mm)	23.8 ± 6.5	23.3 ± 6.5	6.1 — 38.6	10.6 — 33.0	0.904

Tableau III. 48 : Comparaison des moyennes des dimensions des VAS entre hommes et femmes

L'étude des différences entre sexes dans chaque population séparément (Tableau III.49) montre l'existence de différences significatives entre hommes et femmes, mais pas pour les mêmes variables dans les deux populations.

Dans l'échantillon adulte français, toutes les dimensions des VAS sont plus grandes chez les hommes que les femmes à l'exception de celles de la coupe supérieure. Ces différences sont significatives pour le volume total, le volume de l'étage du nasopharynx, la surface ainsi que les longueurs des coupes intermédiaire et minimale et la longueur de la coupe inférieure.

Chez les Vietnamiens, les hommes ont une hauteur des VAS et du nasopharynx significativement plus grande que celle des femmes. En revanche, les surfaces de la coupe intermédiaire et minimale sont significativement plus petites chez les hommes. Ainsi, dans l'échantillon vietnamien, les hommes ont des VAS significativement plus hautes et plus étroites que celles des femmes. Pourtant, ces différences dans la population vietnamienne sont à prendre avec prudence car les variables des VAS présentent une dispersion importante et la taille de l'échantillon des hommes est réduite (8 sujets hommes vietnamiens).

Variables	Adultes français (n=42)		p	Adultes vietnamiens (n=33)		p
	Femmes (n = 28)	Hommes (n = 14)		Femmes (n = 25)	Hommes (n = 8)	
V total (mm ³)	12666.9 ± 4402.3	16231.0 ± 6471.4	0.037	13891.5 ± 4448.8	14145.8 ± 2872.5	0.885
V naso (mm ³)	8304.5 ± 3063.0	10203.7 ± 3148.1	0.028	8944.4 ± 2980.6	8850.2 ± 2803.2	0.853
V oro (mm ³)	4350.0 ± 2107.8	6027.3 ± 4104.4	0.065	4946.7 ± 2128.4	5295.5 ± 1333.9	0.522
S Cs (mm ²)	530.1 ± 146.5	505.4 ± 70.6	0.952	625.3 ± 157.3	590.3 ± 123.7	0.529
S Cm (mm ²)	251.3 ± 118.9	336.0 ± 145.3	0.035	273.2 ± 101.0	193.7 ± 48.9	0.029
S Ci (mm ²)	296.6 ± 103.4	364.8 ± 133.4	0.085	318.4 ± 110.5	330.6 ± 27.5	0.522
S Cmin (mm ²)	185.8 ± 93.9	243.7 ± 99.6	0.05	232.0 ± 91.5	163.0 ± 54.3	0.036
H totale (mm)	45.4 ± 5.3	48.4 ± 7.8	0.083	42.4 ± 4.1	50.9 ± 4.2	<0.001
H naso (mm)	29.1 ± 3.6	30.8 ± 5.3	0.253	25.2 ± 3.8	30.3 ± 4.9	0.016
H oro (mm)	16.4 ± 4.8	17.5 ± 4.8	0.278	17.2 ± 4.3	20.6 ± 4.5	0.059
Long Cs (mm)	19.0 ± 4.0	19.0 ± 2.8	0.727	20.1 ± 3.6	20.2 ± 2.3	0.665
Long Cm (mm)	9.5 ± 2.6	12.3 ± 3.7	0.011	11.7 ± 2.9	10.8 ± 2.8	0.721
Long Ci (mm)	11.7 ± 3.0	14.3 ± 4.3	0.024	12.9 ± 3.3	12.4 ± 1.3	0.883
Long Cmin (mm)	7.7 ± 3.1	10.0 ± 3.9	0.027	10.1 ± 2.5	9.2 ± 1.3	0.324
Larg Cs (mm)	26.4 ± 4.5	27.0 ± 3.1	0.605	28.6 ± 3.7	29.3 ± 3.7	0.606
Larg Cm (mm)	23.8 ± 6.9	26.2 ± 5.8	0.166	22.3 ± 3.7	17.8 ± 6.4	0.107
Larg Ci (mm)	27.7 ± 4.8	28.9 ± 4.0	0.367	26.6 ± 4.4	32.0 ± 3.8	0.004
Larg Cmin (mm)	23.9 ± 6.4	25.6 ± 5.4	0.243	23.7 ± 6.7	19.4 ± 6.8	0.117

Tableau III. 49 : Comparaison des dimensions des VAS entre hommes et femmes dans chaque population (test de Wilcoxon)

Différences entre les adultes des deux populations :

Le dimorphisme sexuel, précédemment mis en évidence, n'est pas observé pour les mêmes variables dans les deux populations, ce qui pose la question de l'existence de différences inter-populationnelles des dimensions des VAS chez les adultes.

Le tableau III.50 (p.163) présente les comparaisons des adultes des deux populations, puis des femmes et des hommes séparément.

Entre les adultes vietnamiens et français, des différences sont observées à l'étage du nasopharynx où les Français ont une hauteur significativement plus grande mais une surface et une largeur de la coupe supérieure significativement plus petites, conduisant à des volumes similaires dans les deux populations. Les tests appliqués séparément pour chaque sexe montrent que les femmes françaises présentent en plus une hauteur totale des VAS significativement plus grande. En revanche, les surfaces de leurs coupes sont plus petites (mais sans atteindre le seuil de significativité), avec des largeurs plus grandes mais des longueurs significativement plus petites. Ces différences de dimensions des coupes montrent une forme plus élargie latéralement chez les femmes françaises.

Les volumes et les surfaces des VAS des hommes français sont plus grands que ceux des hommes vietnamiens, en particulier au niveau des coupes intermédiaires. Les largeurs de ces deux coupes sont aussi significativement plus grandes. Les hommes vietnamiens présentent par contre une surface de la coupe supérieure significativement plus grande avec une augmentation non significative de ses deux dimensions.

	Moyenne Fr <i>n</i> = 42	Moyenne V <i>n</i> = 33	p Fr/V	Femmes FR <i>n</i> = 28	Femmes V <i>n</i> = 25	p F Fr/V	Hommes FR <i>n</i> = 14	Hommes V <i>n</i> = 8	p H Fr/V
V total (mm ³)	13827.3	13953.2	0.55	12666.9	13891.5	0.315	16231.0	14145.8	0.401
V naso (mm ³)	8922.8	8921.6	0.983	8304.5	8944.4	0.442	10203.7	8850.2	0.326
V oro (mm ³)	4896.1	5031.3	0.236	4350.0	4946.7	0.307	6027.3	5295.5	0.633
S Cs (mm ²)	522.1	616.8	0.004	530.1	625.3	0.025	505.4	590.3	0.052
S Cm (mm ²)	278.9	254.0	0.675	251.3	273.2	0.473	336.0	193.7	0.015
S Ci (mm ²)	318.8	321.3	0.859	296.6	318.4	0.457	364.8	330.6	0.485
S Cmin (mm ²)	204.6	215.3	0.571	185.8	232.0	0.074	243.7	163.0	0.048
Htotal (mm)	46.4	44.5	0.148	45.4	42.4	0.025	48.4	50.9	0.402
H naso (mm)	29.7	26.4	0.002	29.1	25.2	<0.001	30.8	30.3	0.833
H oro (mm)	16.8	18.0	0.267	16.4	17.2	0.533	17.5	20.6	0.148
Long Cs (mm)	19.0	20.1	0.251	19.0	20.1	0.287	19.0	20.2	0.332
Long Cm (mm)	10.4	11.5	0.178	9.5	11.7	0.005	12.3	10.8	0.345
Long Ci (mm)	12.6	12.8	0.652	11.7	12.9	0.182	14.3	12.4	0.259
Long Cmin (mm)	8.5	9.9	0.064	7.7	10.1	0.003	10.0	9.2	0.599
Larg Cs (mm)	26.6	28.8	0.022	26.4	28.6	0.058	27.0	29.3	0.103
Larg Cm (mm)	24.6	21.2	0.037	23.8	22.3	0.377	26.2	17.8	0.005
Larg Ci (mm)	28.1	28.0	0.805	27.7	26.6	0.425	28.9	32.0	0.084
Larg Cmin (mm)	24.5	22.7	0.297	23.9	23.7	0.903	25.6	19.4	0.029

Tableau III. 50 : Comparaison des dimensions des VAS dans les deux populations chez les adultes (test de Wilcoxon)

b. Chez les enfants

Dans l'échantillon d'enfants, à la différence des adultes, toutes les variables, exceptées la hauteur totale et celle de l'oropharynx, ont des valeurs plus grandes chez les filles que chez les garçons, que ce soit en regroupant les deux populations (Tableau III.51) ou en les séparant (Tableau III.52). Les différences entre sexes sont significatives dans l'échantillon total d'enfants pour les surfaces des coupes, la longueur de la coupe supérieure et la largeur de la coupe inférieure.

Variables	Moyenne ± Écart-type		Dispersion		p F/G
	Filles (n = 43)	Garçons (n = 30)	Filles (n = 43)	Garçons (n = 30)	
V total (mm ³)	11313.2 ± 3367.1	9874.1 ± 2884.7	5300.5 — 18135.3	4900.3 — 15846.0	0.068
V naso (mm ³)	7170.5 ± 2135.7	6302.6 ± 1960.4	3970.8 — 11373.8	2591.4 — 10719.6	0.114
V oro (mm ³)	4116.5 ± 1805.3	3563.2 ± 1475.3	1135.0 — 8309.4	1226.9 — 7085.1	0.167
S Cs (mm ²)	431.8 ± 120.9	364.5 ± 102.7	159.0 — 744.8	179.4 — 591.3	0.01
S Cm (mm ²)	237.0 ± 78.2	203.2 ± 55.9	97.4 — 388.4	96.8 — 308.5	0.039
S Ci (mm ²)	289.8 ± 85.5	243.5 ± 81.0	114.3 — 485.0	120.9 — 481.1	0.008
S Cmin (mm ²)	192.9 ± 63.7	169.7 ± 50.9	93.6 — 312.00	76.4 — 283.4	0.134
H totale (mm)	40.8 ± 5.3	41.5 ± 5.4	31.8 — 53.1	31.2 — 52.8	0.537
H naso (mm)	25.0 ± 3.3	24.9 ± 4.4	17.2 — 30.6	12.3 — 33.0	0.893
H oro (mm)	15.8 ± 4.4	16.6 ± 5.0	7.5 — 27.6	7.2 — 29.9	0.49
Long Cs (mm)	16.4 ± 3.7	14.3 ± 3.5	5.8 — 23.5	7.4 — 21.1	0.023
Long Cm (mm)	11.0 ± 2.4	10.2 ± 2.5	6.0 — 14.8	5.8 — 15.3	0.148
Long Ci (mm)	12.5 ± 2.6	11.2 ± 2.5	5.8 — 17.9	5.7 — 16.7	0.057
Long Cmin (mm)	9.4 ± 2.4	9.4 ± 2.9	3.5 — 13.7	3.6 — 17.0	0.792
Larg Cs (mm)	25.1 ± 2.8	24.2 ± 4.8	19.7 — 31.1	11.4 — 34.0	0.545
Larg Cm (mm)	21.1 ± 5.7	20.2 ± 5.1	9.5 — 30.5	8.8 — 28.5	0.388
Larg Ci (mm)	26.8 ± 4.3	24.5 ± 4.4	16.7 — 35.2	15.3 — 32.4	0.033
Larg Cmin (mm)	22.5 ± 5.6	19.5 ± 5.7	9.8 — 31.8	7.9 — 30.4	0.039

Tableau III. 51 : Comparaison des dimensions des VAS entre filles et garçons dans l'échantillon total (test de Wilcoxon)

La comparaison entre sexes dans chaque population, française ou vietnamienne, montre que les filles de chaque population ont des dimensions des VAS légèrement plus grandes que celles des garçons pour la plupart des variables mais de façon non significative quelque soit la variable.

Variables	Moyenne ± Écart-type		p	Moyenne ± Écart-type		p
	Enfants français (n= 44)			Enfants vietnamiens (n=29)		
	Filles (n = 26)	Garçons (n =18)		Filles (n =17)	Garçons (n =12)	
V total (mm ³)	11506.0 ± 3411.8	9941.2 ± 3038.3	0.39	11018.3 ± 3379.2	9773.4 ± 2766.3	0.61
V naso (mm ³)	7391.4 ± 2226.5	6262.4 ± 2240.3	0.34	6832.6 ± 2006.7	6362.9 ± 1539.3	0.97
V oro (mm ³)	4094.8 ± 1916.1	3678.7 ± 1495.4	0.62	4149.5 ± 1678.3	3389.8 ± 1492.4	0.49
S Cs (mm ²)	407.5 ± 113.4	358.9 ± 118.8	0.22	468.9 ± 125.8	373.1 ± 76.7	0.19
S Cm (mm ²)	249.4 ± 78.1	208.0 ± 49.3	0.28	218.1 ± 76.8	196.0 ± 66.3	0.63
S Ci (mm ²)	286.9 ± 84.3	243.5 ± 85.8	0.14	294.1 ± 89.7	243.5 ± 77.0	0.26
S Cmin (mm ²)	192.6 ± 68.9	172.5 ± 40.7	1	193.4 ± 56.9	165.4 ± 65.1	0.49
H totale (mm)	41.9 ± 5.4	42.0 ± 5.9	0.85	39.2 ± 4.8	40.8 ± 4.6	0.23
H naso (mm)	26.5 ± 2.6	24.7 ± 4.8	0.28	22.7 ± 3.0	25.3 ± 3.9	0.07
H oro (mm)	15.4 ± 4.6	17.3 ± 5.6	0.79	16.5 ± 4.0	15.5 ± 3.8	0.82
Long Cs (mm)	15.7 ± 3.7	14.9 ± 3.9	0.64	17.6 ± 3.5	13.4 ± 2.5	0.05
Long Cm (mm)	11.1 ± 2.4	10.1 ± 2.5	0.41	10.8 ± 2.4	10.5 ± 2.7	0.63
Long Ci (mm)	12.2 ± 2.6	11.1 ± 2.7	0.61	12.9 ± 2.5	11.5 ± 2.4	0.30
Long Cmin (mm)	8.9 ± 2.5	9.5 ± 2.9	0.26	10.1 ± 1.9	9.3 ± 3.1	0.53
Larg Cs (mm)	25.0 ± 2.4	23.1 ± 5.2	0.09	25.4 ± 3.5	26.0 ± 3.6	0.32
Larg Cm (mm)	21.5 ± 5.8	21.9 ± 4.6	0.71	20.6 ± 5.7	17.6 ± 4.8	0.20
Larg Ci (mm)	27.3 ± 4.4	24.2 ± 4.1	0.08	26.2 ± 4.3	25.1 ± 4.8	0.76
Larg Cmin (mm)	23.1 ± 5.5	20.4 ± 6.2	0.24	21.7 ± 5.9	18.2 ± 4.8	0.29

Tableau III. 52 : Comparaison des dimensions des VAS entre filles et garçons de chaque population (test de Wilcoxon).

L'observation de deux situations opposées chez les enfants et chez les adultes permet de poser l'hypothèse d'une croissance différentielle entre les filles et les garçons. Cette hypothèse sera discutée par la suite dans l'analyse des modifications dimensionnelles des VAS avec l'âge.

2.3.2.2.2. Influence de l'âge

Pour évaluer l'influence de l'âge sur les dimensions des VAS, nous suivons la même procédure d'analyse que pour les dimensions de l'os hyoïde avec :

1. l'évaluation des modifications dimensionnelles des VAS pendant la période du jeune enfant à l'adolescent ([7 à 16 ans]),
2. l'évaluation des modifications totales entre enfants et adultes.

Comme démontré précédemment, l'influence de l'âge sur les dimensions des VAS varie en fonction du sexe et de la population. L'analyse de cette influence doit en théorie être menée séparément pour chaque sous-échantillon. Pourtant, le faible effectif de chaque sous- groupe ne nous permet pas des tests de comparaison fiables. Ces comparaisons entre sexes ou entre groupes d'âge sont donc complétées par les analyses de co-variance qui évaluent l'influence du facteur âge dans chaque sexe. Elles sont réalisées dans chaque population. Les graphiques de ces

analyses de co-variance seront présentés et commentés à la fin de cette analyse, après les résultats des tests de comparaison.

a. Modifications des dimensions des VAS chez les enfants jusqu'à 16 ans

L'échantillon d'enfants de 7 à 16 ans est réparti en quatre sous-groupes en fonction de l'âge, comme dans l'étude des dimensions de l'os hyoïde (Cf. III.2.1.2.2.1, figure III.9a et III.9b).

L'évaluation des modifications dimensionnelles des VAS pendant la période du jeune enfant à l'adolescent ([7 à 16 ans]) comprend la comparaison des dimensions entre les différentes tranches d'âge grâce au test de Wilcoxon et le calcul (en valeur absolue et en pourcentage) de l'amplitude des différences entre les tranches d'âge. Une comparaison des modifications dimensionnelles des VAS entre les deux sexes et une analyse de co-variance sont également réalisées.

- Comparaison des dimensions dans les différentes tranches d'âge de l'échantillon global

La moyenne des dimensions par tranche d'âge dans l'échantillon total, les p des tests Wilcoxon de comparaison des groupes d'âge deux à deux : groupe T1 (< 11 ans) et groupe T2 ([11-[13 ans), groupe T2 et groupe T3 ([13-[15 ans), groupe T3 et groupe T4 ([15-16 ans]), ainsi que le pourcentage d'augmentation des dimensions entre les tranches d'âge sont présentés dans le tableau III.53.

Des différences significatives entre deux périodes consécutives (entre T1 et T2 d'une part, entre T3 et T4 d'autre part) sont observées pour la surface et la largeur de la coupe inférieure. Cette observation est intéressante car la coupe inférieure de l'oropharynx est la partie des VAS qui présente un lien anatomique direct avec l'os hyoïde, et les augmentations de la largeur de cette coupe coïncident avec les moments d'augmentation de la largeur des os hyoïdes (Cf. chapitre III 2.1.2.2.2).

Les autres variables ne présentent pas de différence significative d'une période à l'autre mais, dans l'ensemble, augmentent régulièrement de 7 à 16 ans. Les modifications de l'oropharynx sont plus importantes que celles du nasopharynx et les augmentations transversales sont plus importantes que les antéropostérieures pendant cette période (Figure III.53 et III.54).

Entre les jeunes enfants de moins de 10 ans et les adolescents de 15-16 ans, toutes les dimensions des VAS augmentent significativement, excepté les longueurs antéropostérieures des coupes (supérieure, inférieure et minimale). Cette constatation importante montre que l'évaluation des dimensions des VAS en 2 dimensions sur les téléradiographies de profil chez les individus immatures est insuffisante puisque les modifications des VAS entre 7 et 16 ans se font surtout dans le sens transversal.

	Moyenne				% de différences			
	T1 (n= 20)	T 2 (n = 14)	T 3 (n = 22)	T4 (n= 17)	$\frac{T2-T1}{T1}$ %	$\frac{T3-T2}{T2}$ %	$\frac{T4-T3}{T3}$ %	$\frac{T4-T1}{T1}$ %
V total (mm ³)	8712.2	9982.9	11049.0	13270.9	14.6%	10.7%	20.1%	52.3% (4*)
V naso (mm ³)	5860.0	6101.9	7113.2	8134.9	4.1%	16.6%	14.4%	38.8% (4*)
V oro (mm ³)	2840.8	3877.5	3913.7	5099.9	36.5%	0.9%	30.3%*	79.5% (4*)
S Cs (mm ²)	354.0	381.4	415.0	467.9	7.7%	8.8%	12.7%	32.2% (3*)
S Cm (mm ²)	198.6	210.7	225.6	258.9	6.1%	7.0%	14.8%	30.3% (2*)
S Ci (mm ²)	217.7	292.5	261.1	327.8	34.4%*	-10.7%	25.6%*	50.6% (4*)
S Cmin (mm ²)	161.0	167.4	185.3	220.2	3.9%	10.7%	18.8%	36.8% (3*)
Htotal (mm)	37.6	41.0	42.4	43.6	9.1%	3.3%	2.8%	15.8% (4*)
H naso (mm)	23.8	24.6	25.4	26.1	3.0%	3.5%	2.6%	9.4%
H oro (mm)	13.8	16.5	17.0	17.5	19.5%	3.3%	3.0%	27.1% (3*)
Long Cs (mm)	14.6	14.9	16.2	16.5	1.9%	8.4%	2.2%	12.9%
Long Cm (mm)	10.5	10.3	10.5	11.4	-2.1%	2.2%	8.6%	8.7%
Long Ci (mm)	11.2	12.1	11.6	13.3	7.6%	-4.2%	15.2%	18.8% *
Long Cmin (mm)	9.8	9.0	8.7	10.1	-8.3%	-3.2%	16.5%	3.4%
Larg Cs (mm)	23.5	24.5	24.6	26.8	4.1%	0.4%	9.0%	13.9% (2*)
Larg Cm (mm)	19.0	19.3	21.7	22.7	1.6%	12.4%	4.7%	19.5% *
Larg Ci (mm)	23.0	25.9	25.6	29.5	12.4%*	-1.1%	15.3% (3*)	28.2% (4*)
Larg Cmin (mm)	17.5	20.5	23.1	24.1	17.1%	13.0%	4.2%	37.8% (4*)

Tableau III. 53 : Comparaison des dimensions des VAS par groupe d'âge dans l'échantillon total

* : $p < 0.05$; 2* : $p < 0.01$; 3* : $p < 0.005$; 4* : $p < 0.001$

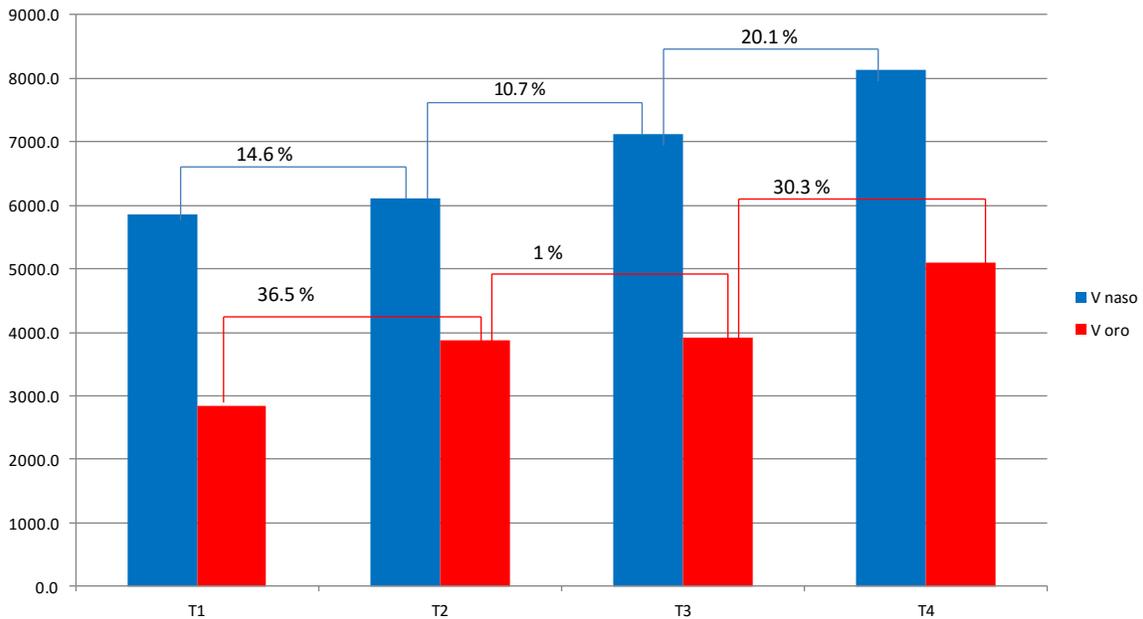


Figure III. 53 : Modifications de volume du nasopharynx et de l'oropharynx entre les tranches d'âge

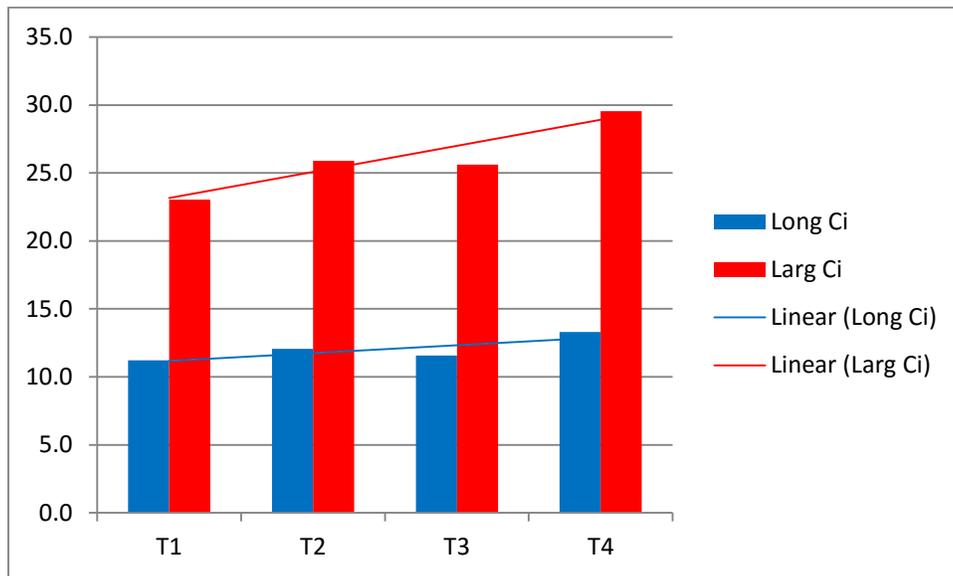


Figure III. 54 : Modifications de largeur et longueur de la coupe inférieure de l'oropharynx entre les tranches d'âge.

- Comparaison des modifications dimensionnelles des VAS de 7 à 16 ans dans les deux sexes
Cette comparaison comprend :
 - une comparaison entre filles et garçons de chaque tranche d'âge,
 - puis une comparaison de l'amplitude des modifications entre les tranches d'âges dans chaque sexe.

Le tableau III.54 regroupe les moyennes et les résultats de la comparaison des sexes dans chaque sous-groupe d'âge.

Jusqu'à 16 ans, en général, les dimensions ne sont pas significativement différentes entre filles et garçons dans chaque tranche d'âge. Les filles présentent, dans l'ensemble, des dimensions plus grandes que les garçons, mais seules la surface de la coupe supérieure et la largeur de la coupe minimale sont significativement plus grandes chez les filles de [15-16] ans. En revanche, chez les enfants de moins de 10 ans, la hauteur totale des VAS est significativement plus grande et la longueur de la coupe minimale significativement plus petite chez les garçons.

	T1		T2		T3		T4	
	F (n=9)	M (n=11)	F (n=9)	M (n=5)	F (n=13)	M (n=9)	F (n=12)	M (n=5)
V total (mm ³)	8581.8	8818.9	10553.6	10846.0	11189.6	10846.0	14065.3	11364.2
V naso (mm ³)	5912.9	5816.8	6321.1	6788.4	7338.0	6788.4	8569.4	7092.0
V oro (mm ³)	2656.4	2991.7	4232.8	4057.6	3814.1	4057.6	5451.8	4255.4
S Cs (mm ²)	404.7	312.6	391.8	391.1	431.6	391.1	482.4	433.0
S Cm (mm ²)	200.5	197.1	209.3	204.9	239.9	204.9	282.1*	203.2*
S Ci (mm ²)	216.2	218.9	307.0	232.7	280.7	232.7	341.7	294.4
S Cmin (mm ²)	168.4	155.0	161.9	178.3	190.2	178.3	237.5	178.9
H totale (mm)	35.2*	39.6*	42.4	44.7	40.8	44.7	43.8	43.1
H naso (mm)	22.3	25.1	25.1	25.4	25.4	25.4	26.4	25.2
H oro (mm)	12.9	14.5	17.3	19.4	15.4	19.4	17.4	17.9
Long Cs (mm)	16.8*	12.9*	15.2	16.1	16.2	16.1	17.4	14.3
Long Cm (mm)	10.2	10.7	10.6	10.3	10.7	10.3	12.2	9.7
Long Ci (mm)	11.2	11.2	12.7	11.0	12.0	11.0	13.8	12.2
Long Cmin (mm)	9.9	9.7	8.7	8.8	8.6	8.8	10.3	9.7
Larg Cs (mm)	24.3	22.8	24.2	23.3	25.4	23.3	26.1	28.4
Larg Cm (mm)	20.7	17.6	18.0	21.6	21.8	21.6	23.1	21.9
Larg Ci (mm)	22.6	23.4	27.1	23.9	26.8	23.9	29.9	28.8
Larg Cmin (mm)	18.9	16.3	20.2	23.3	23.0	23.3	26.5 (3*)	18.4 (3*)

Tableau III. 54 : Comparaison des dimensions des VAS entre filles et garçons de chaque groupe d'âge.

F : Féminin; M : Masculin; * : $p < 0.05$; 2* : $p < 0.01$, 3* : $p < 0.005$.

Le tableau III.55 rapporte les amplitudes des augmentations entre les tranches d'âge et leur caractère significatif dans chaque groupe garçons ou filles.

Dans l'ensemble, les modifications des dimensions des VAS chez les filles correspondent aux observations de l'échantillon total décrites ci-dessus : les augmentations sont significatives entre le groupe T1 (moins de 11 ans) et le groupe T2 ([11-13 ans]), entre le groupe T3 ([13-14 ans]) et le groupe T4 ([15-16 ans]) pour les variables de l'oropharynx : volume, hauteur, surface et largeur de la coupe inférieure. Les garçons ne présentent pas de modifications significatives entre ces tranches d'âge et chez eux, les modifications les plus importantes sont observées dans la période entre T2 ans et T3, ou entre T3 et T4.

L'amplitude des modifications entre les enfants de T1 et ceux de T4 est plus importante pour les variables surface, largeur, longueur de la coupe supérieure chez les garçons que chez les filles. Chez les garçons, ce sont les trois seules modifications significatives entre ces deux périodes T1 et T4, à l'opposé des filles chez qui ces variables ne varient pas significativement alors que les autres dimensions augmentent significativement dans le même temps.

	$\frac{T2-T1}{T1}$ %		$\frac{T3-T2}{T2}$ %		$\frac{T4-T3}{T3}$ %		$\frac{T4-T1}{T1}$ %	
	F (n=9)	M (n=11)	F (n=9)	M (n=5)	F (n=13)	M (n=9)	F (n=12)	M (n=5)
V total (mm ³)	23.0%	1.5%	6.0%	21.1%	25.7% *	4.8%	63.9% (4*)	28.9%
V naso (mm ³)	6.9%	-1.9%	16.1%	18.9%	16.8%	4.5%	44.9% (4*)	21.9%
V oro (mm ³)	59.3%	8.2%	-9.9%	25.3%	42.9% (2*)	4.9%	105.2% (4*)	42.2%
S Cs (mm ²)	-3.2%	16.0%	10.1%	7.8%	11.8%	10.7%	19.2%	38.5%*
S Cm (mm ²)	4.4%	8.2%	14.6%	-4.0%	17.6%	-0.8%	40.7% *	3.1%
S Ci (mm ²)	42.0% *	21.7%	-8.6%	-12.6%	21.7%	26.5%	58.1% (4*)	34.5%
S Cmin (mm ²)	-3.8%	14.3%	17.5%	0.7%	24.9%	0.3%	41.0% (2*)	15.4%
H totale (mm)	20.4%*	-2.6%	-3.8%	15.9%	7.2%	-3.4%	24.2% (4*)	9.0%
H naso (mm)	12.8%	-6.3%	1.2%	8.0%	3.9%	-0.6%	18.5% (3*)	0.6%
H oro (mm)	33.5%	3.8%	-11.0%	28.8%	12.8%	-7.6%	34.1% (2*)	23.6%
Long Cs (mm)	-9.6%	12.2%	6.9%	11.4%	7.5%	-10.9%	3.9%	11.3%
Long Cm (mm)	3.7%	-9.7%	0.8%	5.8%	13.6%	-5.8%	18.8% *	-10.0%
Long Ci (mm)	13.9%	-3.5%	-6.1%	1.3%	15.0%	11.4%	23.0% *	8.9%
Long Cmin (mm)	-11.8%	-2.6%	-1.1%	-7.1%	19.8%	10.0%	4.5%	-0.4%
Larg Cs (mm)	-0.4%	9.1%	5.0%	-6.3%	2.7%	21.5%	7.4%	24.2%*
Larg Cm (mm)	-13.2%	23.4%	21.3%	-0.8%	5.8%	1.6%	11.3%	24.4%
Larg Ci (mm)	20.1% *	1.3%	-1.2%	0.8%	11.6% *	20.1%	32.4% (4*)	22.6%*
Larg Cmin (mm)	7.2%	27.8%	13.8%	11.3%	15.0%	-20.9%	40.3% (4*)	12.5%

Tableau III. 55 : Pourcentages d'augmentation des VAS entre les périodes d'âge étudiées :
T1 : < de 10 ans; T2 : [11-13 ans]; T3 : [13-14 ans]; T4 : [15-16 ans]. F : Féminin; M : Masculin. * : p < 0.05;
2* : p < 0.01, (3*) : p < 0.005. (4*) : p < 0.001

b. Modifications totales des dimensions des VAS de l'enfant à l'adulte

Les comparaisons des moyennes des dimensions des VAS des enfants à celles des adultes et les pourcentages d'augmentation sont réalisés séparément pour chaque sexe (Tableau III.56), puis pour chaque sexe en fonction de la population (Tableau III.57). L'influence du sexe et de la population sur l'évolution dimensionnelle des VAS est complétée ensuite par les graphiques de LOWESS (Locally Weighted Exponential Scatterplot Smoothing), figurant les modifications globales avec l'âge dans chaque sexe et population. Ces graphiques de LOWESS sont présentés et commentés parallèlement aux graphiques ANCOVA des modifications de 7 à 16 ans, ils permettent une vision complète des modifications dimensionnelles des VAS avec l'âge.

- Comparaisons des modifications entre l'enfant et l'adulte en fonction du sexe.

L'augmentation de toutes les dimensions de l'enfant à l'adulte est plus importante chez les garçons que chez les filles. Cette différence est très marquée pour les volumes (total, du nasopharynx et de l'oropharynx), les surfaces des coupes intermédiaire et inférieure et de la coupe de surface minimale ainsi que des longueurs de toutes les coupes. En rapprochant ce résultat des observations faites sur la période de 7 à 16 ans (augmentation plus forte de la plupart

des variables chez les filles), nous pouvons supposer que des modifications dimensionnelles importantes chez les garçons ont lieu après cette période.

	Filles	Femmes	$\frac{Af-Ef}{Ef}$ %	Garçons	Hommes	$\frac{Am-Em}{Em}$ %
V total (mm ³)	11313.2	13233.8	17.0%	9874.1	15472.7	56.7%
V naso (mm ³)	7170.5	8600.7	19.9%	6302.6	9711.5	54.1%
V oro (mm ³)	4116.5	4626.3	12.4%	3563.2	5761.2	61.7%
S Cs (mm ²)	431.8	574.2	33.0%	364.5	536.3	47.1%
S Cm (mm ²)	237.0	261.5	10.3%	203.2	284.3	39.9%
S Ci (mm ²)	289.8	306.7	5.8%	243.5	352.4	44.7%
S Cmin (mm ²)	192.9	207.2	7.4%	169.7	214.4	26.3%
H totale (mm)	40.8	44.0	7.9%	41.5	49.3	18.7%
H naso (mm)	25.0	27.3	9.3%	24.9	30.6	22.7%
H oro (mm)	15.8	16.8	6.2%	16.6	18.6	12.3%
Long Cs (mm)	16.4	19.5	18.5%	14.3	19.5	35.8%
Long Cm (mm)	11.0	10.6	-4.0%	10.2	11.7	14.7%
Long Ci (mm)	12.5	12.3	-1.7%	11.2	13.6	20.9%
Long Cmin (mm)	9.4	8.8	-5.6%	9.4	9.7	3.3%
Larg Cs (mm)	25.1	27.4	9.2%	24.2	27.8	14.5%
Larg Cm (mm)	21.1	23.1	9.2%	20.2	23.1	14.5%
Larg Ci (mm)	26.8	27.2	1.4%	24.5	30.0	22.4%
Larg Cmin (mm)	22.5	23.8	5.9%	19.5	23.3	19.5%

Tableau III. 56 : Comparaison des modifications dimensionnelles des VAS de l'enfant à l'adulte selon le sexe

Af : Adultes féminins ; Ef : Enfants féminins ; Am : Adultes masculins ; Em : Enfants masculins

En rouge : p 0.05 au test de Wilcoxon

- Comparaison des modifications entre les enfants et les adultes des deux populations.

L'amplitude des modifications dimensionnelles totales au cours de la croissance diffère entre les deux populations (Tableau III.57, p.172).

Dans l'échantillon français, l'augmentation dimensionnelle est plus importante chez les garçons pour toutes les variables excepté la hauteur de l'oropharynx. Chez les filles françaises, les dimensions antéropostérieures des coupes axiales des VAS tendent à diminuer (à l'exception de la coupe supérieure) tandis qu'elles augmentent de façon importante chez les garçons.

Dans l'échantillon vietnamien, si l'augmentation des volumes et celle des hauteurs des VAS sont plus importantes pour le sexe masculin, celle des surfaces des coupes est, en revanche, plus importante pour le sexe féminin. Les VAS des garçons vietnamiens s'allongent beaucoup plus en hauteur mais varient peu en surface de section.

En comparant les garçons des deux populations, nous trouvons que les modifications dimensionnelles sont plus importantes chez les Français pour la plupart des variables, tout particulièrement pour les dimensions de l'oropharynx (surfaces des coupes intermédiaire ou la plus petite ainsi que leurs largeurs et longueurs respectives). En revanche, les garçons

vietnamiens ont des augmentations plus importantes que les français pour la hauteur totale, la hauteur de l'oropharynx et la longueur de la coupe supérieure.

Pour les sujets féminins, dans l'ensemble, les filles vietnamiennes ont des modifications dimensionnelles des VAS plus importantes que les françaises : pour les volumes, les surfaces, les longueurs et largeurs des coupes. Les modifications de la hauteur totale des VAS ne sont pas différentes entre les deux populations.

	Pourcentage d'augmentation			
	$\frac{Af-Ef}{Ef}$ % Française	$\frac{Af-Ef}{Ef}$ % Vietnamiennes	$\frac{Am-Em}{Em}$ % Français	$\frac{Am-Em}{Em}$ % Vietnamiens
V total	10.1%	26.1%	63.3%	44.7%
V naso	12.4%	30.9%	62.9%	39.1%
V oro	6.2%	19.2%	63.8%	56.2%
S Cs	30.1%	33.3%	40.8%	58.2%
S Cm	0.8% (*)	25.3% (*)	61.5% (*)	-1.2% (*)
S Ci	3.4%	8.3%	49.8%	35.7%
S Cmin	-3.6% (*)	20.0% (*)	41.3% (*)	-1.4% (*)
Htotal	8.4%	8.2%	15.2%	24.8%
H naso	9.9%	11.2%	24.7%	19.7%
H oro	7.0%	4.2%	1.0%	33.2% (*)
Long Cs	21.0%	14.0%	27.5% (*)	50.3% (*)
Long Cm	-14.3%	8.9%	22.2% (*)	2.7% (*)
Long Ci	-3.6%	-0.4%	28.8% (*)	7.9% (*)
Long Cmin	-13.5%	0.9%	5.9%	-1.3%
Larg Cs	5.8%	12.9%	16.9%	12.7%
Larg Cm	10.7%	8.2%	19.4% (*)	1.0% (*)
Larg Ci	1.4%	1.9%	19.5%	27.9%
Larg Cmin	3.8%	9.5%	25.2% (*)	6.9% (*)

Tableau III. 57 : Comparaison de l'importance des modifications dimensionnelles des VAS de l'enfance à l'âge adulte entre les Vietnamiens et Français.

Af : Adultes féminins ; Ef : Enfants féminins ; Am : Adultes masculins ; Em : Enfants masculins

* : Augmentation significative

c. Analyses de covariance et graphiques de LOWESS

Les graphiques d'ANCOVA (présentant l'évolution dimensionnelle de 7 à 16 ans) et les graphiques de LOWESS (présentant l'évolution dimensionnelle de l'enfant à l'adulte) pour chaque variable dans chaque population (française ou vietnamienne) seront présentés en même temps (ANCOVA en haut, LOWESS en bas), afin de mieux illustrer les spécificités de l'évolution de la variable étudiée. Les ANCOVA présentent des droites de régression, alors que les LOWESS sont des courbes de tendance locale permettant de modéliser des relations non linéaires, voire non monotones.

Pour chaque groupe de variables, seules les variables les plus significatives sont présentées et commentées. Ce sont :

Variables de volume	Variables de surface	Variables de hauteur	Variable de largeur/longueur
Volume de nasopharynx	Surface de la coupe supérieure	Hauteur du nasopharynx	Largeur de la coupe supérieure Longueur de la coupe supérieure
Volume de l'oropharynx	Surface de la coupe intermédiaire Surface de la coupe inférieure	Hauteur de l'oropharynx	Largeur de la coupe inférieure Longueur de la coupe inférieure Largeur de la coupe minimale Longueur de la coupe minimale

- L'évolution des volumes
 - Volume du nasopharynx
- Chez les Français, le graphique d'ANCOVA (Figure III.55a) ne montre pas d'évolution différente du volume du nasopharynx chez les filles et les garçons de 7 à 16 ans (p global = 0.43, p pente = 0.9) : une augmentation régulière identique est observée dans les deux sexes avec des corrélations avec l'âge similaires. Le graphique de LOWESS (Figure III.56a), incluant les dimensions des adultes, montre que le volume du nasopharynx devient supérieur chez les garçons vers 15-16 ans et continue à augmenter beaucoup plus pour atteindre à l'âge adulte des valeurs très supérieures à celles des femmes. De l'enfant à l'adulte (Cf. Tableau III.56), l'augmentation totale est de 62.9 % chez les sujets masculins et seulement de 12.4 % chez les sujets féminins.
- Chez les enfants vietnamiens de 7 à 16 ans, le graphique d'ANCOVA (Figure III.55b) montre peu de variation du volume du nasopharynx chez les garçons alors que ce volume augmente chez les filles. La différence n'est cependant pas significative. À la différence de la population française, le volume du nasopharynx, dans la population vietnamienne, reste plus petit chez les hommes. L'amplitude de l'augmentation totale entre enfants et adultes est voisine dans les deux sexes de la population vietnamienne (Cf. Tableau III.57), de l'ordre de 30.9 % pour le sexe féminin et 39.1 % pour le sexe masculin.
- Les deux graphiques d'ANCOVA (Figure III.55, p.174) ou LOWESS (Figure III.56, p.174) du volume du nasopharynx montrent des valeurs dans l'ensemble plus grandes chez les jeunes enfants vietnamiens, mais à partir de l'âge de 10-11 ans, il est plus grand chez les enfants français, surtout pour le sexe masculin.

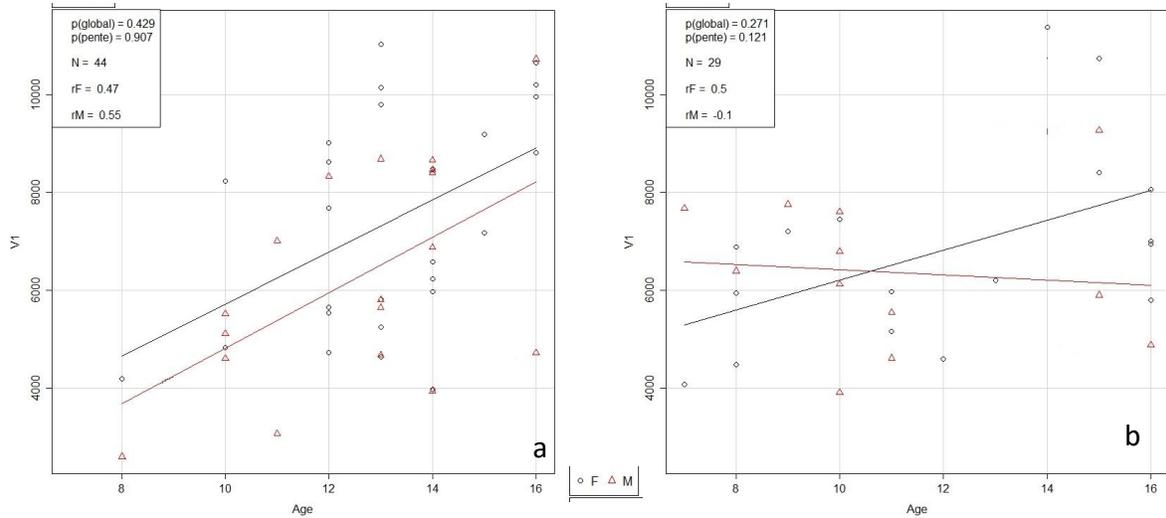


Figure III. 55 : Graphiques d'ANCOVA du volume naso-pharynx chez les Français (a) ou les Vietnamiens (b).

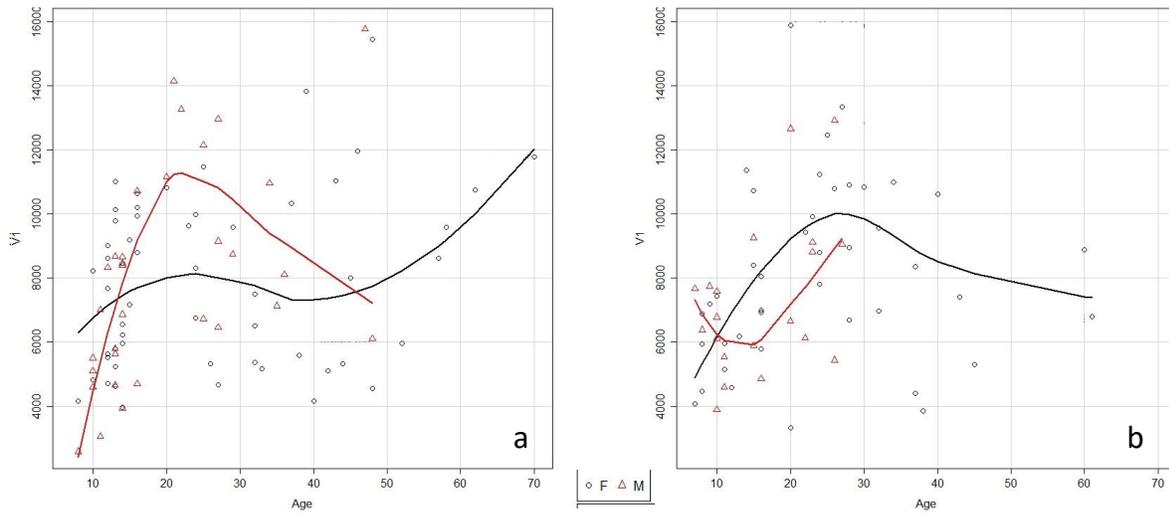


Figure III. 56 : Graphiques LOWESS du volume naso-pharynx chez les Français (a) et Vietnamiens (b).

■ Volume de l'oropharynx :

- Chez les Français, les modifications de volume de l'oropharynx ne sont pas significativement différentes chez les filles et chez les garçons de 7 à 16 ans d'après l'analyse de co-variance (Figure III.57a, p.175). Le graphique LOWESS (Figure III.58a, p.175) montre que l'évolution dimensionnelle jusqu'à l'âge adulte ne diffère pas non plus entre les deux sexes jusqu'à 25 ans. Cependant, les pourcentages d'augmentation calculés (cf. tableau III.57, p.172) sont nettement supérieurs dans le sexe masculin, avec une augmentation de 62.8 % entre enfants et adultes contre seulement 6.2 % d'augmentation pour le sexe féminin. Ce résultat qui semble contradictoire est expliqué par la grande dispersion des valeurs de l'oropharynx,

l'ANCOVA prend la courbe moyenne et ne détecte donc pas la différence significative, tandis que les valeurs moyennes sont différentes.

- Chez les Vietnamiens, les enfants présentent un graphique ANCOVA de l'oropharynx (Figure III.57b) très similaire et avec des valeurs pendant la période de 7 à 16 ans identiques à celles des Français. Les modifications pendant cette période montrent une augmentation régulière d'une amplitude plus importante chez les filles des deux populations. Les modifications totales (Figure 58b) de l'enfant à l'adulte ne diffèrent pas en fonction du sexe chez les Vietnamiens.

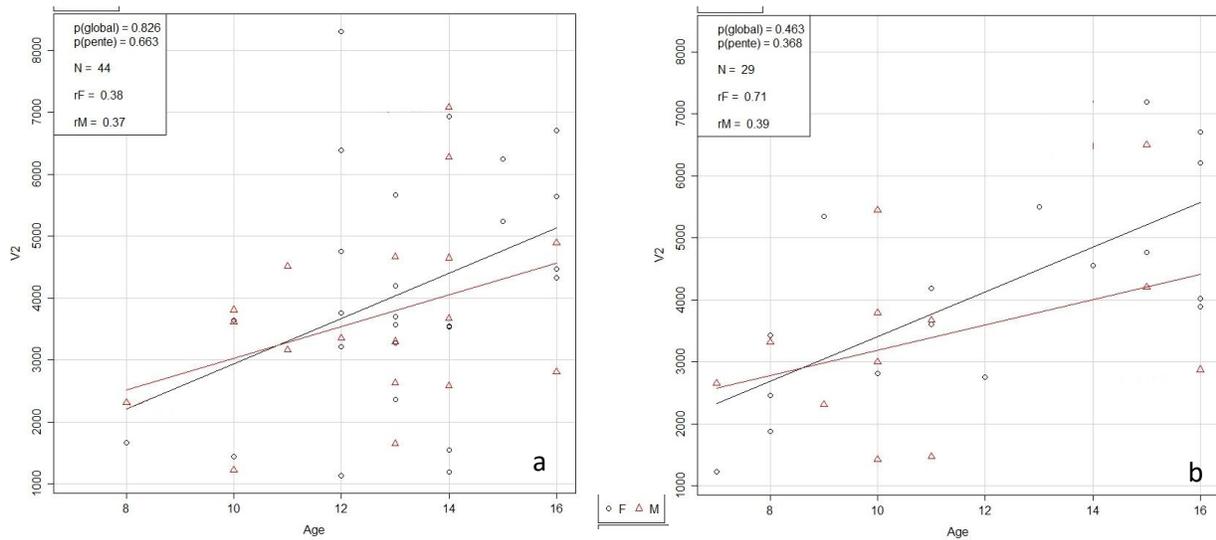


Figure III. 57 : Graphiques d'ANCOVA du volume oropharynx chez les Français (a) et Vietnamiens (b)

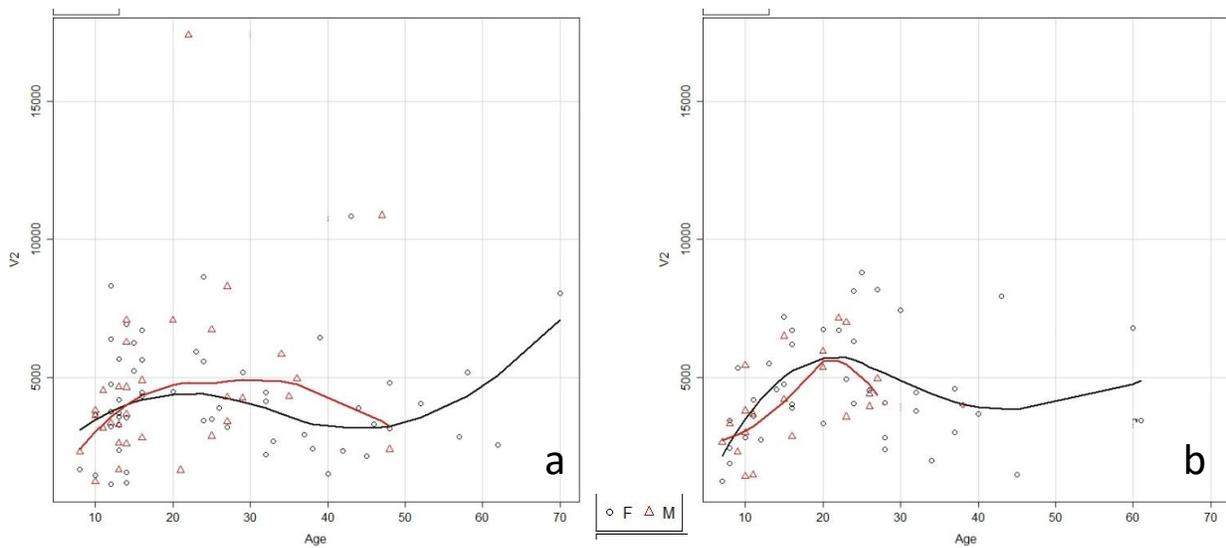


Figure III. 58 : Graphiques de LOWESS du volume oropharynx chez les Français (a) et les Vietnamiens (b)

- Evolution des surfaces

- Surface de la coupe supérieure

- Chez les Français, l'évolution de la surface de la coupe supérieure de 7 à 16 ans (Figure III.59a) et de l'enfant à l'adulte (Figure III.60a) montre les mêmes caractéristiques que celle du volume du nasopharynx, discutée précédemment, avec une augmentation totale plus importante et plus tardive chez les garçons. Les garçons français ont initialement une coupe supérieure de surface plus petite que celle des filles pendant la période de 7 à 15-16 ans, mais ceci s'inverse à l'âge adulte.
- Chez les Vietnamiens, Il n'y a pas de différence de croissance en fonction du sexe, pendant la période de 7 à 16 ans (Figure III.59b), les deux courbes sont parallèles mais les filles présentent des valeurs supérieures à celles des garçons. Cette différence persiste à l'âge adulte (Figure III.60b). Les Vietnamiennes ont des valeurs plus grandes que celles des filles et femmes françaises.

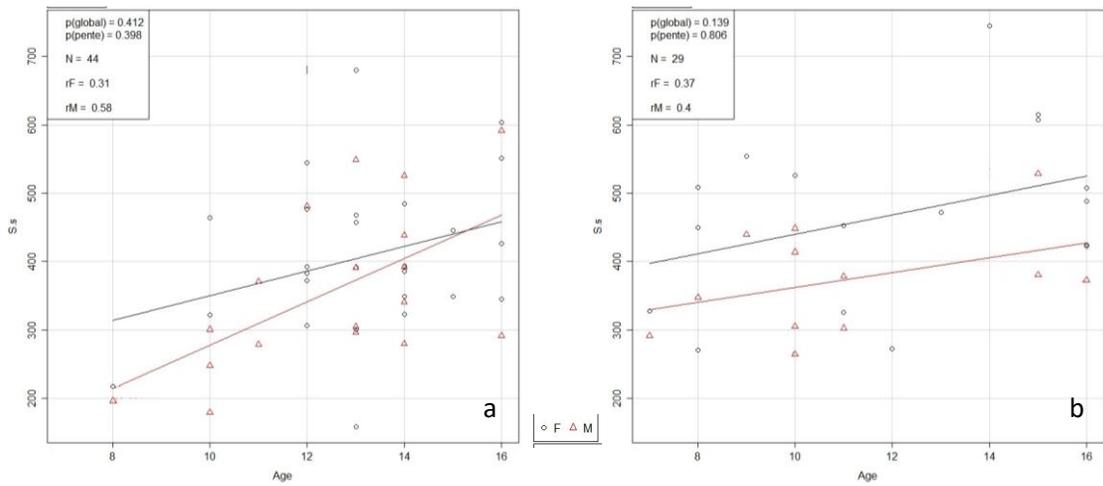


Figure III. 59 : Graphiques d'ANCOVA de la surface de la coupe supérieure chez les Français (a) et Vietnamiens (b).

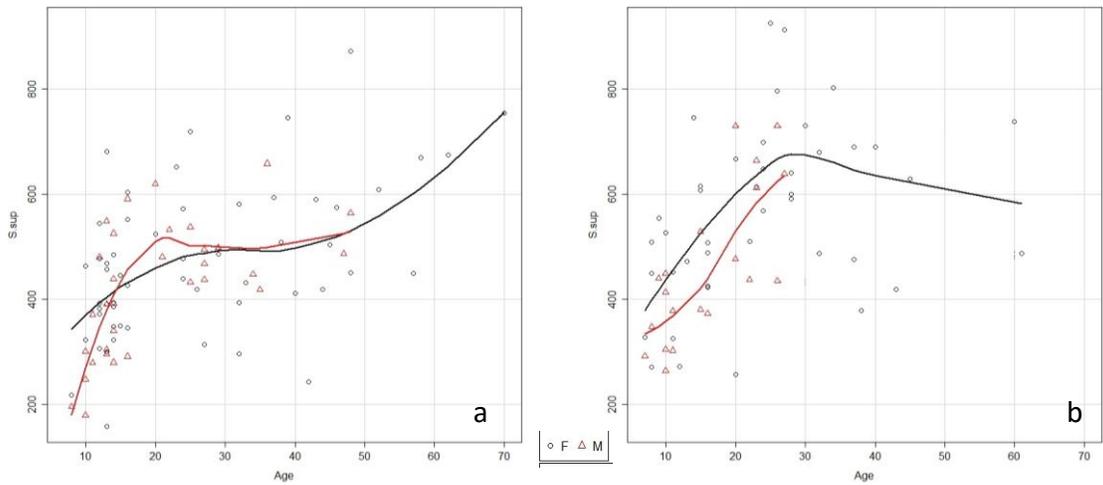


Figure III. 60 : Graphiques LOWESS de la surface de la coupe supérieure chez les Français (a) et Vietnamiens (b).

- Surface de la coupe inférieure

La surface de la coupe inférieure présente des différences d'évolution dimensionnelle entre les deux sexes de chaque population et entre les deux populations.

- *Chez les Français*, pendant la période du jeune enfant à l'adolescent, l'évolution dimensionnelle de la coupe inférieure ne diffère pas significativement entre les garçons et les filles selon l'ANCOVA (Figure III.61a), les filles gardent des valeurs dans l'ensemble plus grandes que les garçons malgré une croissance moindre. Mais le graphique *LOWESS* (Figure III.62a) montre, là encore, une inversion après 16 ans, les dimensions des garçons devenant supérieures. Les modifications totales relatives confirment nettement cette différence, avec une augmentation totale de 3.4 % pour les filles et de 49.8 % pour les garçons.

Cette croissance différentielle entre les garçons et filles, décrite pour le volume du nasopharynx et la surface des coupes supérieure ou inférieure, est également observée pour les surfaces des autres coupes des VAS (intermédiaire ou la plus petite) ainsi que pour les largeurs et longueurs des quatre coupes.

- *Chez les Vietnamiens*, une évolution différente de celle des Français est observée dans chaque sexe et dans chaque période. En effet, de 7 à 16 ans, les filles vietnamiennes ont une augmentation de surface de la coupe inférieure plus importante que les garçons, non significative cependant (Figure III.61b). Jusqu'à l'âge adulte, à la différence des garçons français, les garçons vietnamiens présentent une croissance moins importante que les filles, et leurs valeurs restent proches de celles des filles (Figure III.62b).
- *En comparant les deux populations*, nous observons qu'après 12 ans, les filles vietnamiennes ont des dimensions supérieures aux filles et aux garçons français (Figures III.61a et b) ; mais à l'âge adulte, les hommes français ont des surfaces de la coupe inférieure plus grandes (Figure III.62a et b). En revanche, les femmes vietnamiennes gardent des valeurs supérieures à celles des Françaises (Figure III.62 a et b et cf. tableau III.50).

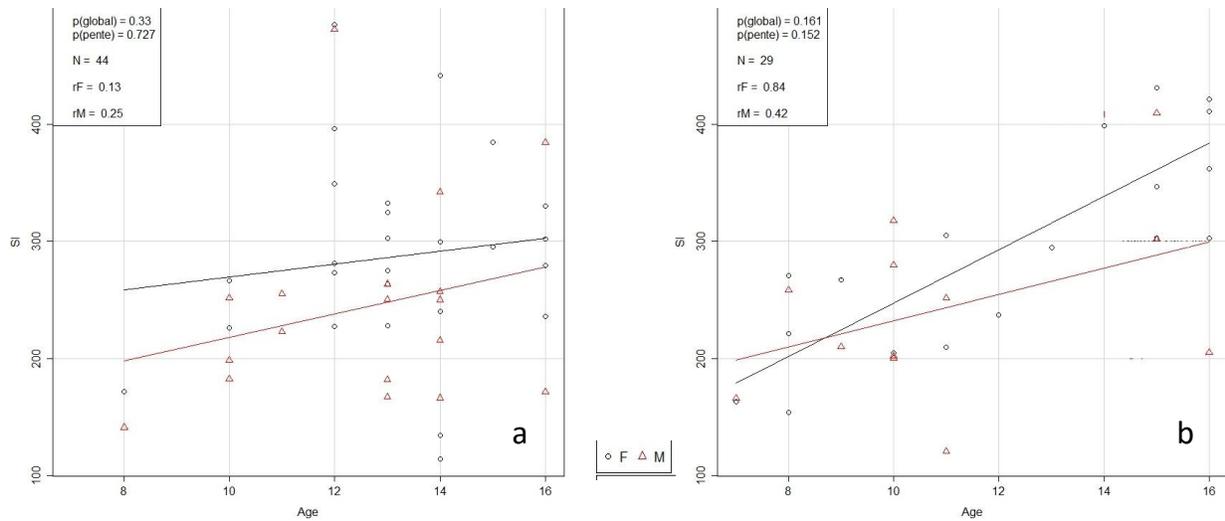


Figure III. 61 : ANCOVA de surface de la coupe inférieure chez les Français (a) et chez les Vietnamiens (b)

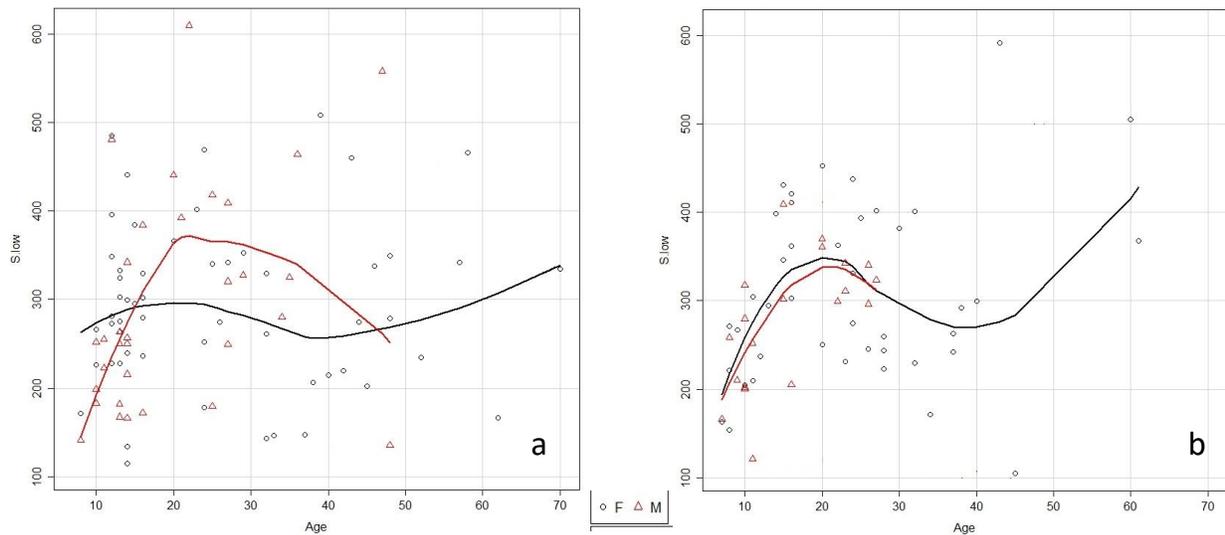


Figure III. 62 : Graphiques de LOWESS de la surface de la coupe inférieure chez les Français (a) et chez les Vietnamiens (b)

- Evolution des hauteurs des VAS

- Hauteur du nasopharynx

- Chez les Français, la hauteur du nasopharynx évolue comme les surfaces des coupes supérieure ou inférieure, avec une similitude entre les deux sexes pendant la période de 7 à 16 ans (Figure III.63a), avec une augmentation légèrement plus importante pour le sexe masculin qui conduit après 25 ans à des valeurs supérieures chez les hommes (Figure III. 64a).

- Chez les Vietnamiens, les filles présentent une croissance plus importante que les garçons pendant la période de 7 à 16 ans mais la hauteur du nasopharynx reste plus petite chez elles (Figure III.63b et III.64b).

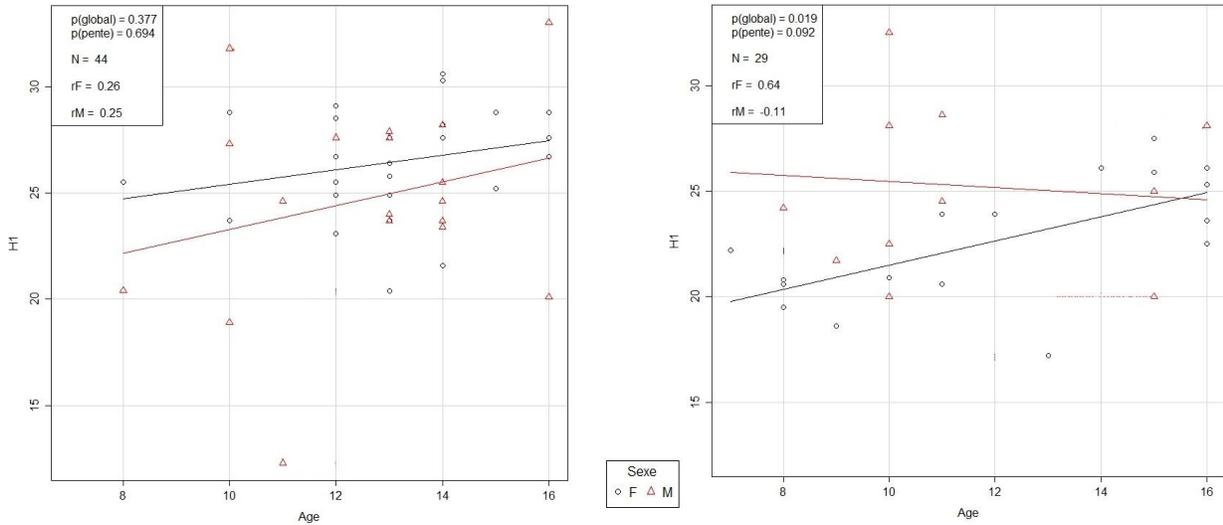


Figure III. 63 : Graphiques d'ANCOVA de la hauteur du nasopharynx chez les Français (a) et Vietnamiens (b)

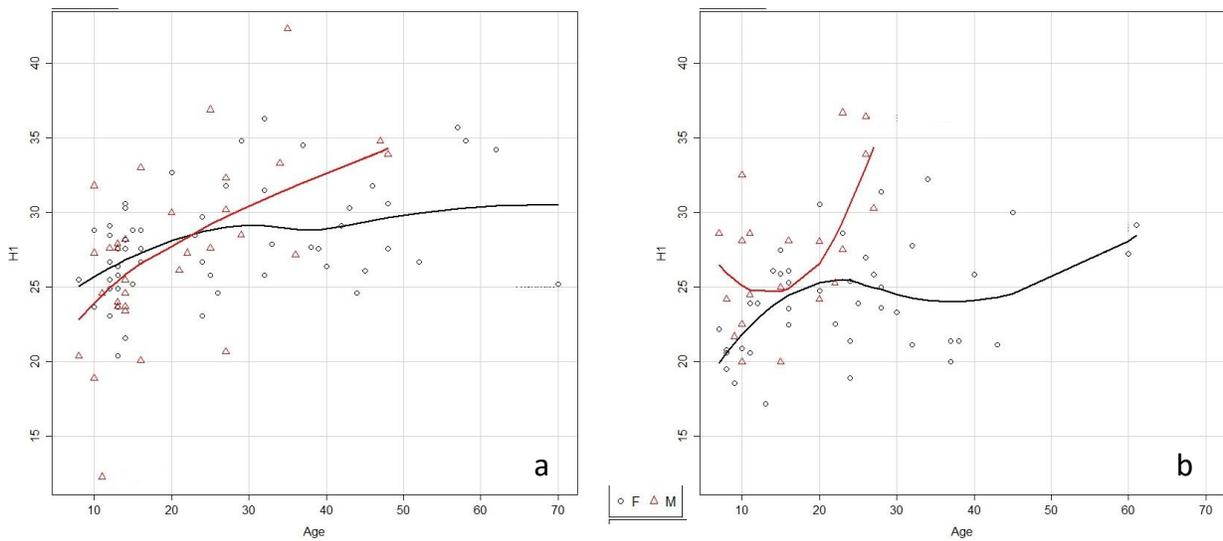


Figure III. 64 : Graphiques de LOWESS de la hauteur du nasopharynx chez les Français (a) et Vietnamiens (b)

■ Hauteur de l'oropharynx

- Chez les Français, les garçons présentent des hauteurs de l'oropharynx plus grandes que celles des filles, chez les enfants comme chez les adultes. Mais l'évolution dimensionnelle n'est pas différente entre les deux sexes (Figure III.65 a et III.66 a).

- Chez les Vietnamiens, une évolution différente entre les deux sexes est observée : la hauteur de l'oropharynx des garçons, initialement plus faible, augmente de façon plus importante pour atteindre à l'âge adulte des valeurs supérieures à celles des filles (Figure III 65b et III.65b). Le croisement des deux courbes est observé vers 13 ans.
- Entre les deux populations française et vietnamienne, la hauteur de l'oropharynx n'est pas différente.

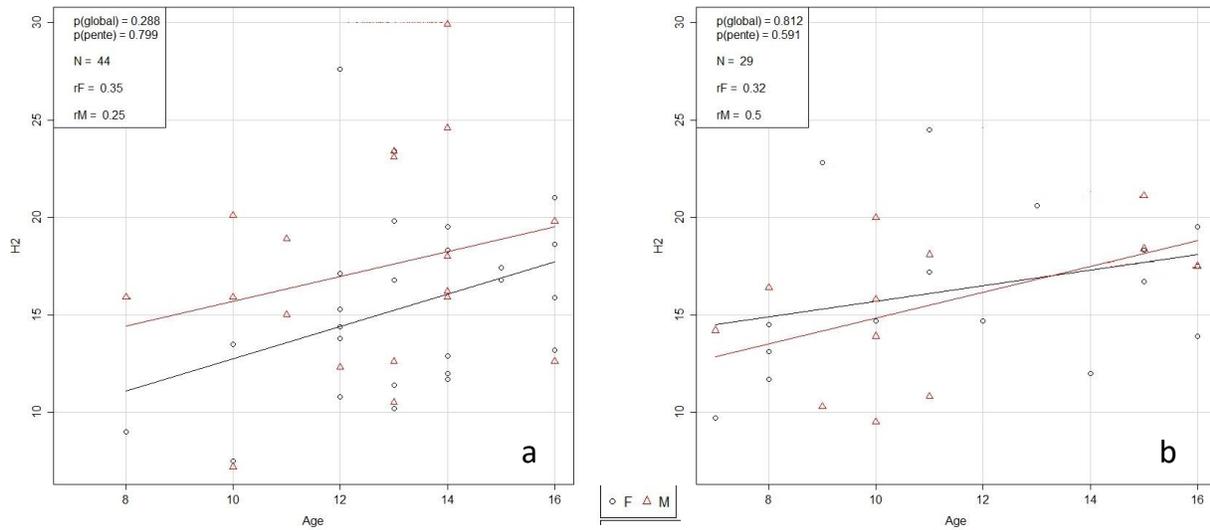


Figure III. 65 : Graphiques d'ANCOVA de la hauteur de l'oropharynx chez les Français (a) et Vietnamiens (b)

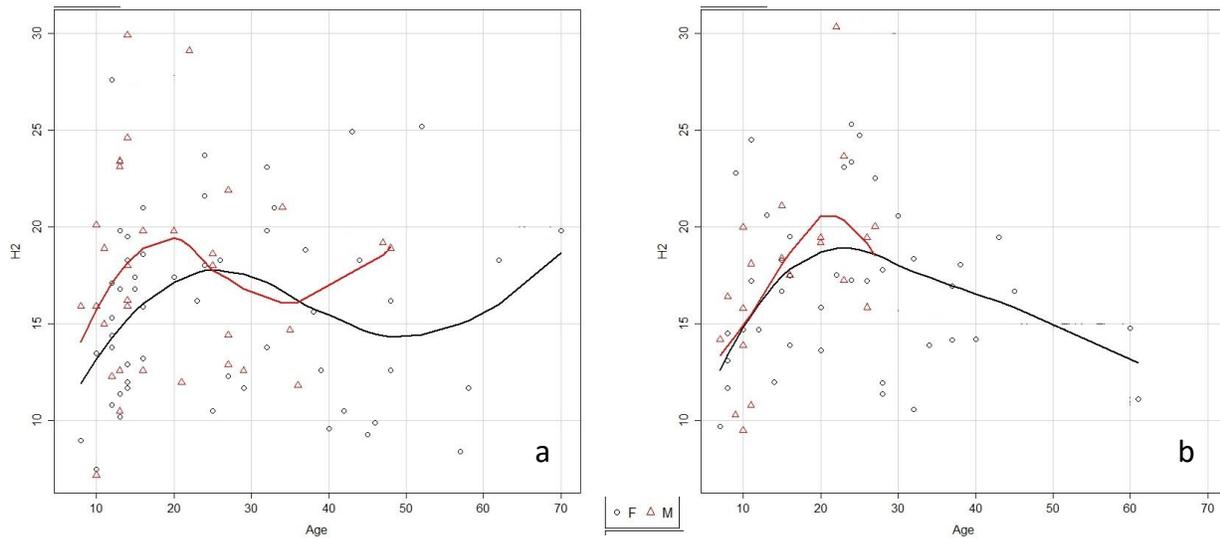


Figure III. 66 : Graphiques de LOWESS de la hauteur de l'oropharynx chez les Français (a) et Vietnamiens (b)

2.3.2.3. Synthèse des observations réalisées sur les dimensions des VAS

Les dimensions des VAS sont significativement plus grandes chez les adultes masculins. Ce dimorphisme sexuel n'est pas observé chez les individus immatures. Pour ces derniers, seules la hauteur totale et celle de l'oropharynx sont plus grandes chez les garçons. Les autres dimensions sont plus petites chez les garçons, mais de manière non significative pour la plupart.

Les VAS des garçons sont donc plus hautes et plus étroites, mais là encore de façon non significative.

Entre le stade immature et le stade adulte, le volume augmente d'environ 57 % pour le sexe masculin et de 17 % pour le sexe féminin. La modification totale de volume entre l'enfant et l'adulte ne diffère pas entre le nasopharynx et l'oropharynx, mais elle est plus importante au niveau de l'oropharynx pendant la période de 7 à 16 ans, traduisant une croissance plus précoce de l'oropharynx. Les modifications des largeurs et longueurs des coupes axiales des VAS sont différentes entre les deux étages pharyngés. À l'étage du nasopharynx, la section supérieure présente des modifications dans le sens antéro-postérieur plus importantes que dans le sens transversal, tandis qu'à l'étage de l'oropharynx, les modifications transversales sont les plus grandes. Les hauteurs des deux étages augmentent d'une amplitude plus importante chez les garçons que chez les filles, et légèrement plus importante à l'étage du nasopharynx (*cf.* Tableau III.56).

Ces constatations sont vraies pour l'ensemble des variables des VAS dans l'échantillon français. Pour l'échantillon vietnamien, les modifications sont différentes. L'amplitude des changements reste plus importante chez les garçons vietnamiens que chez les filles vietnamiennes pour la plupart des dimensions, à l'exception de la surface des coupes intermédiaire et minimale. Par rapport aux garçons français, les garçons vietnamiens présentent des augmentations plus importantes au niveau des hauteurs des VAS, mais plus faibles pour les autres dimensions.

Les filles vietnamiennes sont caractérisées par des modifications de l'ensemble des VAS plus importantes que les filles françaises. À l'âge adulte, les dimensions des VAS sont différentes entre les individus féminins des deux populations. Au niveau du nasopharynx, les femmes françaises présentent une hauteur significativement plus grande, mais une surface de la coupe supérieure significativement plus petite. Elles présentent aussi, bien que de manière non significative, des dimensions transversales plus grandes, et des longueurs antéro-postérieures plus petites que les Vietnamiennes. Cette différence est significative pour la coupe intermédiaire et celle de la surface minimale.

2.3.3. Analyse de la morphologie des VAS

2.3.3.1. Variables utilisées

Nous utilisons les rapports entre largeur et longueur des coupes pour analyser la morphologie des VAS. Ces variables sont :

Abréviations	Définition
Rapport Cs	Rapport entre largeur et longueur de la coupe supérieure
Rapport Cm	Rapport entre largeur et longueur de la coupe moyenne
Rapport Ci	Rapport entre largeur et longueur de la coupe inférieure
Rapport Cmin	Rapport entre largeur et longueur de la coupe ayant la surface minimale

2.3.3.2. Analyse descriptive

Le tableau III.58 présente les valeurs moyennes et la dispersion des rapports concernant les quatre coupes des VAS.

La coupe supérieure des VAS présente le rapport largeur sur longueur le plus petit (la moyenne de rapport est 1.7 pour enfant et 1.4 pour adulte) et la moindre de dispersion (variant de 0.6 à 3.5) (Figure III.67). La coupe de la surface minimale des VAS présente le rapport le plus grand, et une grande dispersion où parfois la largeur est supérieure à 7 fois la longueur (Figure III.68).

	Moyenne ± Écart-type		Dispersion	
	Enfants (n = 73)	Adultes (n = 75)	Enfants (n = 73)	Adultes (n = 75)
Rapport Cs	1.7 ± 0.5	1.4 ± 0.3	0.6 — 3.5	0.9 — 2.4
Rapport Cm	2.1 ± 0.8	2.3 ± 0.8	0.8 — 3.9	0.5 — 4.8
Rapport Ci	2.3 ± 0.6	2.3 ± 0.7	1.2 — 4.8	1.0 — 4.9
Rapport Cmin	2.5 ± 1.1	2.9 ± 1.2	0.7 — 7.1	0.6 — 7.0

Tableau III. 58 : Analyse descriptive des rapports largeur/longueur des coupes des VAS

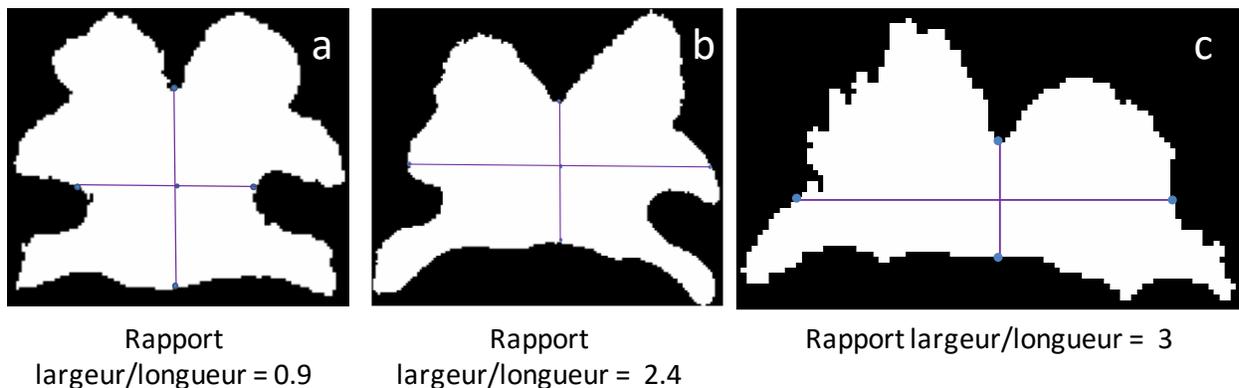


Figure III. 67 : Différentes formes de la coupe supérieure
Forme allongée sagittalement (a) ou carrée (b), ou allongée transversalement (c)

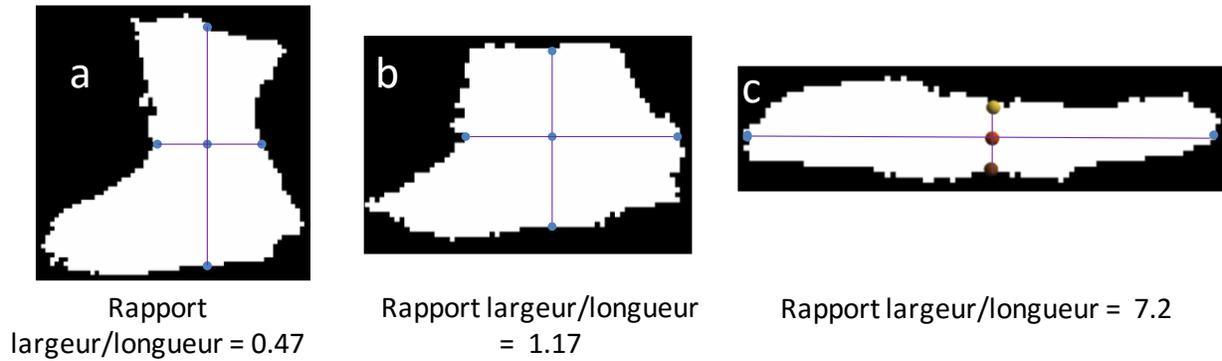


Figure III. 68 : Différentes formes de la coupe de surface minimale des VAS
 Forme allongée sagittalement (a) ou carrée (b), ou allongée transversalement (c)

Les coupes des VAS sont polymorphes, leur forme peut être triangulaire ou ovale, carrée ou rectangulaire (Figures III.67, III.68). En se basant sur le rapport largeur/longueur, nous distinguons quatre formes de base des coupes des VAS : une forme allongée sagittalement (As) ou rectangulaire sagittalement, dont la largeur est plus petite que la longueur (rapport < 1), une forme carrée (C) dont la largeur est égale ou légèrement supérieure à la longueur ($1 \leq \text{rapport} \leq 1.5$), une forme allongée transversalement (At) ou rectangulaire transversalement dont la largeur est supérieure à une fois et demi la longueur ($1.5 \text{ rapport} < 3$) et une forme transversalement très large (Al) dont le rapport est supérieur à 3. Dans cette classification, la forme triangulaire est classée dans la catégorie allongée sagittalement car le rapport largeur sur longueur est inférieur à 1. Le tableau III.59 regroupe les fréquences de ces formes pour chaque coupe axiale des VAS, dans les échantillons d'enfants et d'adultes.

	Coupe supérieure		Coupe intermédiaire		Coupe inférieure		Coupe minimale	
	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes
Forme As	1.4 %	1.3 %	4.1 %	3.9 %	0 %	0 %	5.5 %	1.3 %
Forme C	39.7 %	67.1 %	24.7 %	15.8 %	4.1 %	6.6 %	12.3 %	5.3 %
Forme At	56.2 %	31.6 %	56.2 %	59.2 %	87.7 %	78.9 %	57.5 %	59.2 %
Forme Al	2.7 %	0 %	15.1 %	21.1 %	8.2 %	14.5 %	24.7 %	34.2 %

Tableau III. 59 : Fréquences des différentes formes en fonction de la coupe étudiée chez les enfants et les adultes

As : forme allongée sagittalement (Rapport largeur/longueur < 1); C: forme carrée ($1 \leq \text{Rapport} \leq 1.5$);

At : forme allongée transversalement ($1.5 \leq \text{Rapport} < 3$); Al : Forme très large transversalement (Rapport ≥ 3)

Cette classification simple permet de mieux décrire les formes des coupes des VAS. Nous pouvons observer que la forme allongée transversalement est majoritaire pour les coupes intermédiaire, inférieure ou minimale, alors que la coupe supérieure présente une forme plutôt carrée, majoritaire chez les adultes. La forme rectangulaire sagittalement n'est pas observée au

niveau de la coupe inférieure, tandis que la forme très large transversalement n'est pas retrouvée au niveau de la coupe supérieure.

Notre attention se porte plus particulièrement sur la forme de la coupe inférieure qui présente un lien direct avec l'os hyoïde et sur celle de la coupe de surface minimale, qui joue un rôle important dans la résistance des VAS au flux aérien. Les fréquences des différentes formes de ces deux coupes sont présentées dans les graphiques des figures III.69 et III.70. Elles sont toutes deux majoritairement allongées transversalement.

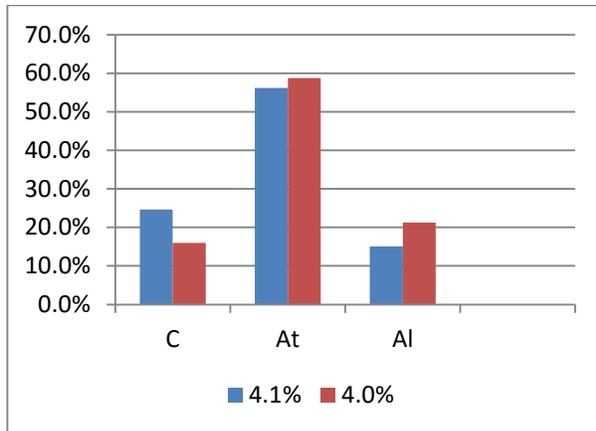


Figure III. 69 : Fréquences des différentes formes de la coupe inférieure

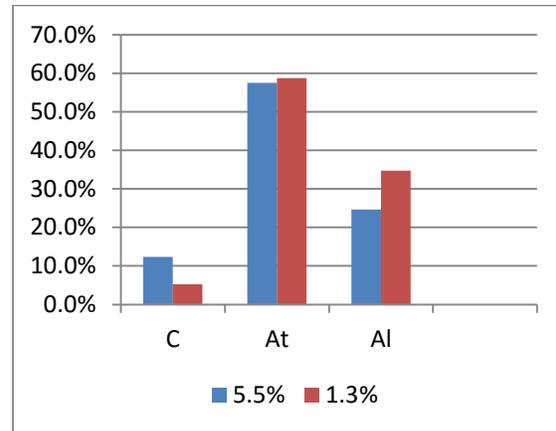


Figure III. 70 : Fréquences des différentes formes de la coupe minimale

2.3.3.3. Influence du sexe

Aucune différence significative entre les deux sexes n'est mise en évidence par le test statistique pour les rapports de largeur sur longueur des coupes que ce soit dans l'échantillon total ou dans les sous-groupes enfants et adultes analysés séparément (Tableau III.60). Nous pouvons constater toutefois que les femmes ou les filles ont des rapports pour la coupe supérieure inférieurs à ceux des hommes ou des garçons. En revanche, pour les coupes intermédiaire, inférieure ou minimale, les rapports sont plus grands chez les femmes.

	Moyenne F total n = 96	Moyenne M total n = 52	p t test F/M	Moyenne Femmes n = 53	Moyenne Hommes n = 22	t test F/H	Moyenne Filles n = 43	Moyenne Garçons n = 30	P t test F/G
Rapport Cs	1.5	1.6	0.100	1.4	1.5	0.782	1.6	1.7	0.222
Rapport Cm	2.2	2.1	0.637	2.3	2.1	0.304	2.0	2.1	0.496
Rapport Ci	2.3	2.3	0.868	2.4	2.3	0.901	2.2	2.3	0.590
Rapport Cmin	2.9	2.5	0.132	3.0	2.7	0.259	2.6	2.4	0.512

Tableau III. 60 : Comparaison des différents rapports largeur/longueur des coupes entre les deux sexes
F / M : Féminin / Masculin ; F / H : Femmes / Hommes ; F / G : Filles / Garçons

Chez les enfants, la classification des formes met en évidence des différences significatives au niveau des coupes axiales des VAS entre les deux sexes (Tableau III.61).

Ces différences sont observées pour les coupes supérieure et inférieure. Pour la coupe supérieure, les garçons présentent une fréquence plus élevée de forme carrée et plus faible de forme allongée latéralement que les filles. Pour la coupe inférieure, 100 % des filles ont des formes allongées latéralement tandis que chez les garçons, les formes carrées ou allongées sagittalement sont présentes dans 13 % de l'échantillon. On observe alors des formes plus longues dans le sens antéropostérieur chez les garçons.

	Coupe supérieure		Coupe intermédiaire		Coupe inférieure		Coupe minimale	
	Filles (n = 43)	Garçons (n = 30)	Filles (n = 43)	Garçons (n = 30)	Filles (n = 43)	Garçons (n = 30)	Filles (n = 43)	Garçons (n = 30)
Forme As	0	1	1	2	0	3	2	3
Forme C	21	7	12	5	0	1	3	4
Forme At	22	22	25	19	43	26	30	16
Forme Al	0	0	5	4	0	0	8	7
p (Fischer)	0.037		0.63		0.025		0.43	

Tableau III. 61 : Répartition des différentes formes en fonction du sexe chez les enfants

Chez les adultes, la fréquence des diverses formes des VAS ne diffère pas entre les femmes et les hommes (Tableau III.62).

	Coupe supérieure		Coupe intermédiaire		Coupe inférieure		Coupe minimale	
	Femmes n = 53	Hommes n = 22	Femmes n = 53	Hommes n = 22	Femmes n = 53	Hommes n = 22	Femmes n = 53	Hommes n = 22
Forme As	0	1	1	2	0	0	1	0
Forme C	36	15	10	2	4	1	2	2
Forme At	17	6	30	14	41	18	30	14
Forme Al	0	0	12	4	8	3	20	6
p (Fischer)	0.414		0.364		0.626		0.611	

Tableau III. 62 : Répartition des différentes formes en fonction du sexe chez les adultes.

2.3.3.4. Influence de l'âge

La comparaison des rapports entre enfants et adultes est présentée dans le tableau III.63.

Les enfants et adultes ont des formes très similaires pour les coupes moyenne et inférieure, avec un rapport largeur/longueur aux alentours de 2 en moyenne. Ils se différencient par contre quant à la forme de la coupe supérieure et de la coupe de surface minimale.

Les adultes ont pour la coupe supérieure un rapport largeur/longueur significativement plus petit, résultat d'une augmentation plus importante de la longueur que de la largeur entre l'enfant et l'adulte. C'est la seule coupe des VAS qui présente une modification plus importante dans le sens antéropostérieur ; pour les autres coupes, particulièrement pour la coupe de surface minimale, l'augmentation de la largeur est plus importante que celle de la longueur. Le rapport largeur/longueur est donc plus grand chez les adultes, mais la différence de ce rapport entre enfants et adultes n'est significative que pour la coupe de surface minimale.

	Moyenne		Dispersion		p
	Enfants (n = 73)	Adultes (n = 75)	Enfants (n = 73)	Adultes (n = 75)	
Rapport Cs	1.7 ± 0.5	1.4 ± 0.3	0.6 — 3.5	0.9 — 2.4	<0.001
Rapport Cm	2.1 ± 0.8	2.3 ± 0.8	0.8 — 3.9	0.5 — 4.8	0.103
Rapport Ci	2.3 ± 0.6	2.3 ± 0.7	1.2 — 4.8	1.0 — 4.9	0.412
Rapport Cmin	2.5 ± 1.1	2.9 ± 1.2	0.7 — 7.1	0.6 — 7.0	0.048

Tableau III. 63 : Comparaison des rapports largeur/longueur des différentes coupes entre enfants et adultes

La fréquence des formes des coupes intermédiaires n'est pas significativement différente entre enfants et adultes (Figures III.71, III.72). En revanche, les fréquences des formes des coupes supérieure et inférieure sont significativement différentes entre enfants et adultes (Figure III.73, III.74). Les adultes présentent pour la coupe supérieure plus de formes carrées et moins de formes larges transversalement (Figure III.73), et pour la coupe inférieure une fréquence plus importante des formes très larges (Figure III.74).

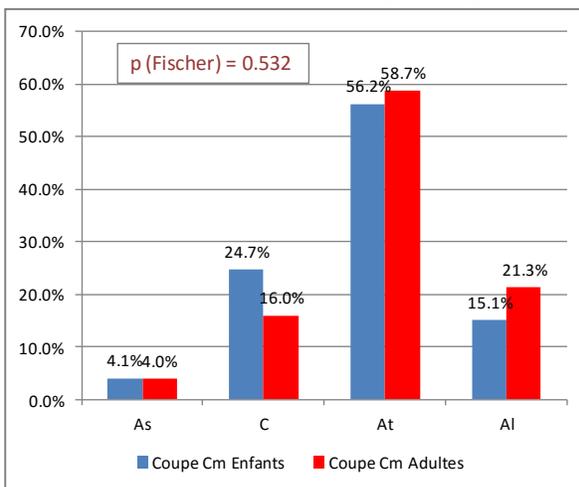


Figure III. 71 : Comparaison des fréquences des différentes formes de la coupe intermédiaire chez les enfants et les adultes

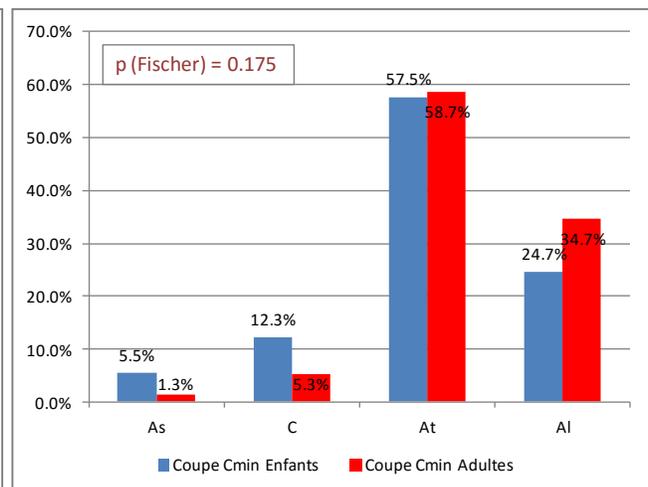


Figure III. 72 : Comparaison des fréquences des différentes formes de la coupe minimale chez les enfants et les adultes

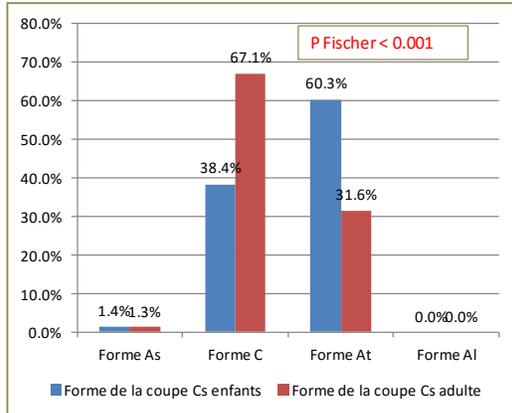


Figure III. 73 : Comparaison des fréquences des différentes formes de la coupe supérieure chez les enfants et les adultes

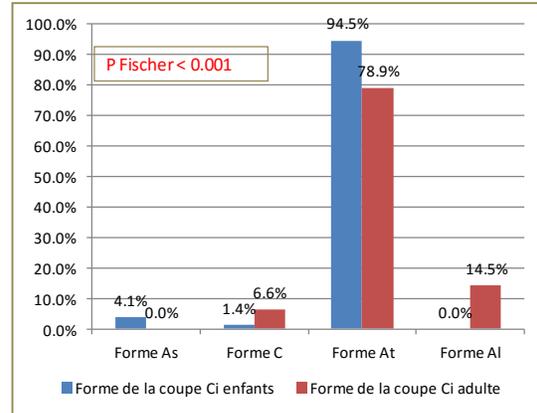


Figure III. 74 : Comparaison des fréquences des différentes formes de la coupe inférieure chez les enfants et les adultes

2.3.3.5. Influence de la population

La comparaison montre des différences significatives des rapports largeur/longueur des coupes intermédiaire et minimale entre les deux populations (Tableau III.64). Chez les adultes français, ces coupes sont plus larges transversalement ou plus courtes dans le sens antéropostérieur.

Pour les coupes supérieure et inférieure des VAS, les rapports ne sont pas significativement différents entre les deux populations, dans les deux échantillons complets ou en séparant enfants et adultes. Nous remarquons quand même que pour ces coupes, les Français ont tendance à avoir des rapports plus grands que les Vietnamiens, c'est-à-dire que sur toute la hauteur des VAS, la forme des coupes chez les Français est plus large dans le sens transversal ou plus courte dans le sens antéropostérieur

		Rapport Cs	Rapport Cm	Rapport Ci	Rapport Cmin
Toute population	Français (n= 86)	1.55 ± 0.41	2.33 ± 0.82	2.36 ± 0.70	2.99 ± 1.31
	Vietnamiens (n= 62)	1.57 ± 0.37	1.95 ± 0.74	2.22 ± 0.54	2.32 ± 0.89
	p (t test)	0.786	0.004	0.180	0.001
Groupe enfants	Français (n= 44)	1.67 ± 0.47	2.15 ± 0.79	2.33 ± 0.68	2.66 ± 1.19
	Vietnamiens (n= 29)	1.69 ± 0.44	1.92 ± 0.72	2.14 ± 0.43	2.27 ± 1.04
	p (t test)	0.817	0.209	0.175	0.154
Groupe adultes	Français (n= 42)	1.44 ± 0.28	2.51 ± 0.81	2.39 ± 0.73	3.32 ± 1.35
	Vietnamiens (n= 33)	1.46 ± 0.27	1.97 ± 0.77	2.29 ± 0.62	2.36 ± 0.75
	p (t test)	0.668	0.004	0.521	0.000

Tableau III. 64 : Comparaison des rapports largeur / longueur des coupes entre populations.

2.3.3.6. Synthèse des observations sur la forme des VAS

Sur toute la hauteur des VAS, du nasopharynx à l'oropharynx, la forme des coupes évolue passant d'une forme plutôt carrée ou allongée dans le sens antéropostérieur à une forme plus large transversalement, résultat d'un développement transversal plus important.

Les coupes de surface minimale ont des morphologies très variables, parfois très étroites dans le sens transversal (rapport largeur longueur = 0.7), parfois très aplaties dans le sens antéropostérieur (rapport largeur/longueur = 7.1) (cf. Figure III.63). Leur position est, dans la plupart des cas, aux alentours de la coupe intermédiaire passant par la pointe de l'uvula, mais elle peut toutefois varier, se rapprochant de la coupe inférieure ou de la coupe supérieure.

La coupe au niveau du sommet de l'épiglotte, limite inférieure de l'oropharynx, présente le plus souvent une morphologie large transversalement, avec en moyenne une largeur deux fois plus grande que la longueur. La forme de cette coupe n'est pas différente en fonction du sexe chez les adultes mais elle est plus large chez les filles que chez les garçons. Du stade d'immaturation au stade adulte, la coupe supérieure présente une modification de forme avec une morphologie significativement plus longue dans le sens antéropostérieur chez les adultes. La différence de forme des VAS entre les populations française et vietnamienne est constatée chez les sujets adultes, au niveau des coupes intermédiaire et minimale, qui sont significativement plus larges chez les Français.

2.3.4. Relations dimensionnelles et morphologiques entre les VAS et l'os hyoïde

2.3.4.1. Relations dimensionnelles

Les relations entre les dimensions des VAS et celles de l'os hyoïde sont recherchées d'abord par le calcul des coefficients de corrélation de Pearson puis étudiées par la comparaison de leur évolution au cours de la croissance grâce aux graphiques d'ANCOVA et de LOWESS.

2.3.4.1.1. Corrélations entre les dimensions VAS et celles de l'os hyoïde

Les corrélations sont recherchées entre les dimensions de la coupe inférieure des VAS et celles de l'os hyoïde et entre le volume de l'oropharynx et les dimensions de l'os hyoïde. (La matrice complète des coefficients de corrélation entre les variables dimensionnelles des VAS et de l'os hyoïde, chez les enfants et chez les adultes est rapportée dans l'annexe III.1 et III.2).

Pour que la corrélation soit significative avec un risque $\alpha < 0.01$, le coefficient de corrélation doit être supérieur ou égal, en valeur absolue, à une valeur seuil de 0.3 dans notre échantillon de 70 sujets. Pourtant, en biologie, seules les corrélations supérieures à 0.6 sont considérées comme suffisamment importantes. Nos commentaires se fondent sur ces deux

critères, nous rapportons les coefficients significatifs mais nous ne commentons que des coefficients ≥ 0.6 , preuves d'une relation étroite entre les deux variables.

Les enfants présentent des corrélations significatives entre les dimensions transversale et antéropostérieure de la coupe inférieure des VAS, d'une part, et les longueurs et la largeur de l'os hyoïde, d'autre part ; les corrélations entre les dimensions transversales sont plus fortes que celles entre les dimensions antéropostérieures. Pourtant, aucun des coefficients n'atteint 0.6, et ces corrélations restent faibles. Chez les adultes, les corrélations ne sont pas significatives (Tableau III.65).

Le volume de l'oropharynx est faiblement corrélé à la longueur de l'os hyoïde.

	Largeur coupe inférieure		Longueur coupe inférieure		Surface de la coupe inférieure		Volume de l'oropharynx	
	<i>Enfants (n=73)</i>	<i>Adultes (n=75)</i>	<i>Enfants</i>	<i>Adultes</i>	<i>Enfants</i>	<i>Adultes</i>	<i>Enfants</i>	<i>Adultes</i>
Larg totale	0.49	0.42	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)
Larg ant	(NS)	0.37	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)
Long totale	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	0.3	(NS)
Long GCd	0.39	0.3	0.3	(NS)	0.3	0.3	0.35	(NS)
Long GCg	0.4	0.3	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	0.34	(NS)

Tableau III. 65 : Corrélation entre les dimensions VAS et les dimensions de l'os hyoïde chez les enfants et chez les adultes

(NS) : coefficient non significatif (<0.3)

2.3.4.1.2. Comparaison des évolutions dimensionnelles de l'os hyoïde et des VAS avec l'âge

L'os hyoïde, comme les VAS, présentent des modifications dimensionnelles avec l'âge différentes en fonction du sexe, avec une augmentation de taille plus importante chez les garçons vers l'âge pubertaire ou post-pubertaire. Ce phénomène est observé pour toutes les dimensions de l'os hyoïde (largeurs antérieure, postérieure, longueur totale, longueur des grandes cornes) avec des dimensions initialement plus petites chez les garçons qui augmentent plus rapidement vers 11-14 ans. Cette évolution différente entre filles et garçons est également retrouvée pour les variables des VAS, mais à des âges soit similaires, soit plus tardifs. Ces ressemblances entre l'évolution dimensionnelle des VAS et de l'os hyoïde existent pour l'ensemble des variables chez les Français. L'échantillon vietnamien ne présente ces mêmes modifications que pour la hauteur de l'oropharynx, la surface et la longueur de la coupe inférieure des VAS. Pour les autres dimensions, l'augmentation de taille chez les garçons vietnamiens ne dépasse pas celle des filles vietnamiennes. La figure III.68 est un exemple qui compare le graphique de LOWESS de la largeur de l'os hyoïde et celui de la largeur de la coupe inférieure des VAS, tous deux montrent le

croisement des courbes vers l'âge de 13-14 ans pour la largeur hyoïdienne et plus tard vers l'âge de 16-17 ans pour la largeur de la coupe inférieure.

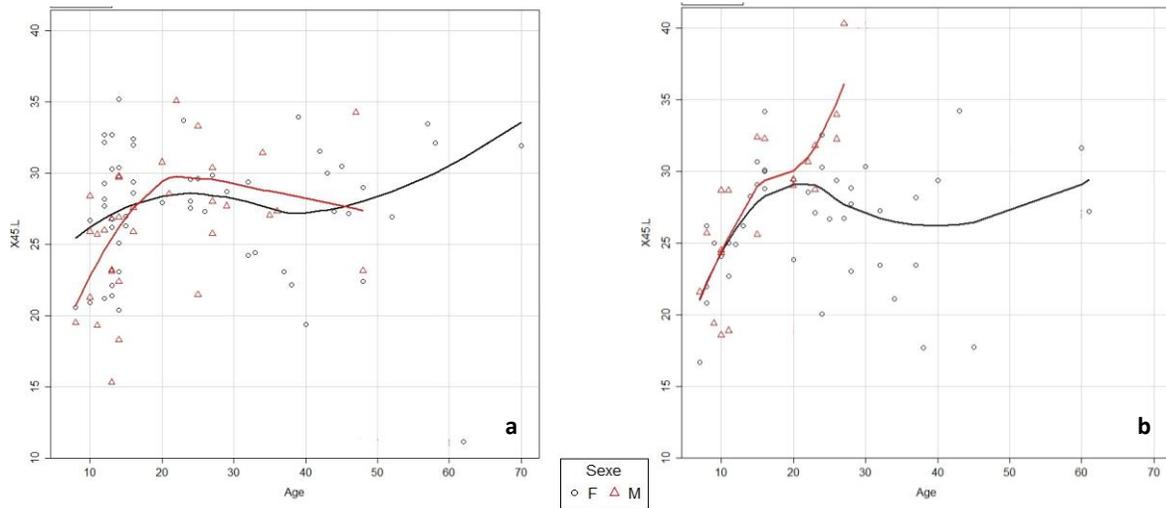


Figure III. 75 : Graphique LOWESS de la variable Largeur de la coupe inférieure des VAS (a) et largeur totale de l'os hyoïde (b) des enfants français

2.3.4.2. Relations morphologiques

Comme pour l'étude de la relation dimensionnelle entre les VAS et l'os hyoïde, l'étude de la relation morphologique entre ces deux unités anatomiques comprend premièrement un calcul des coefficients de corrélations entre leurs rapports largeur/longueur et deuxièmement une comparaison des graphiques de leur évolution avec l'âge.

Les coefficients de corrélation entre le rapport largeur/longueur de l'os hyoïde et celui des coupes des VAS ne sont pas significatifs ($r < 0.3$), que ce soit dans l'échantillon d'enfants ou celui d'adultes.

Les graphiques ANCOVA des rapports ne montrent pas de ressemblance entre le rapport largeur/longueur de l'os hyoïde avec ceux des coupes des VAS (cf. Annexe III.3).

2.3.4.3. Synthèse

En résumé, à l'issue des évaluations précédemment décrites, il existe chez les individus immatures des corrélations significatives mais restant faibles (< 0.6) entre les dimensions de l'os hyoïde et celles de la coupe inférieure des VAS (surface, longueur et largeur). Les modifications dimensionnelles entre le stade immature et le stade adulte de ces deux unités anatomiques présentent des ressemblances, avec une augmentation dimensionnelle plus importante chez les garçons à l'âge pubertaire ou post-pubertaire, en fonction des variables. Chez les sujets adultes, les corrélations de largeur entre l'os hyoïde et la coupe inférieure de l'oropharynx restent significatives, mais les dimensions antéro-postérieures ne sont pas corrélées significativement. Le rapport entre largeur et longueur de l'os hyoïde ne présente aucune corrélation avec celui des coupes axiales des VAS.

2.4. Étude de la position de l'os hyoïde

Les mesures de position de l'os hyoïde horizontalement et verticalement par rapport à des références anatomiques sont réalisées sur des clichés téléradiographiques de profil reconstitués à partir des CBCT de l'échantillon français uniquement (*cf.* chapitre II. 2.2.3.2.3).

2.4.1. Analyse descriptive des variables de position

Les tableaux III.66 et III.67 présentent l'analyse descriptive de la position horizontale et verticale de l'os hyoïde par rapport à différentes entités anatomiques (base de crâne, colonne vertébrale, maxillaire, mandibule) ou à des plans de référence (plan de Francfort, plan perpendiculaire au plan de Francfort passant par le porion, plan reliant le Menton et la 3e vertèbre cervicale).

2.4.1.1. Position horizontale de l'os hyoïde

Horizontalement, la projection de l'os hyoïde sur le bord basilaire de la mandibule (ligne Go-Gn) se trouve dans le tiers postérieur de cette longueur.

Sa distance avec la colonne vertébrale est d'environ 30 mm (Tableau III.66).

Position horizontale de l'os hyoïde	Moyenne \pm écart-type		Dispersion	
	Enfants (n= 44)	Adultes (n=42)	Enfants (n= 44)	Adultes (n=42)
Hy-Go (mm)	22.3 \pm 4.4	24.22 \pm 5.32	13.3 — 35.1	11.80 — 36.10
Hy-Gn (mm)	44.8 \pm 5.7	45.52 \pm 5.20	30.2 — 56.1	35.60 — 56.00
Hy-Rgn (mm)	38.0 \pm 5.5	39.42 \pm 4.58	23.4 — 48.8	28.90 — 49.80
Hy- Plan Po (mm)	35.2 \pm 6.5	36.52 \pm 6.33	23.2 — 50.1	22.40 — 49.40
Hy- C3 hor (mm)	31.3 \pm 4.5	32.79 \pm 4.49	19.1 — 40.8	25.70 — 45.50

Tableau III. 66 : Analyse descriptive des variables déterminant la position horizontale de l'os hyoïde.

2.4.2.2. Position verticale de l'os hyoïde

La position verticale de l'os hyoïde par rapport à la base du crâne, à la colonne vertébrale, au maxillaire évolue avec l'âge et présente plus de variations que sa position horizontale (Tableau III.67).

Classiquement, l'os hyoïde est décrit comme étant situé verticalement au niveau de la ligne qui relie le point menton et le point antéro-inférieur de la troisième vertèbre cervicale (C3). Nous observons dans notre échantillon total que seulement 24.4 % des os hyoïdes se trouvent à ce niveau (Tableau III.68). Il peut être au-dessus ou au-dessous de cette ligne en fonction de facteurs biologiques et surtout des typologies faciales que nous analyserons plus tard.

Position verticale de l'os hyoïde	Moyenne ± écart-type		Dispersion	
	Enfants (n = 44)	Adultes (n = 42)	Enfants (n = 44)	Adultes (n = 42)
Hy-S (mm)	94.0 ± 8.7	100.6 ± 8.9	78.7— 114.3	86.2 — 125.3
Hy-Fr (mm)	76.1 ± 8.0	83.6 ± 7.4	63.5 — 92.8	72.0 — 101.0
Hy-Mx (mm)	54.0 ± 6.3	59.5 ± 6.9	43.7 — 70.3	48.3 — 77.4
Hy-GoGn (mm)	15.5 ± 4.8	16.5 ± 5.0	4.0 — 27.9	8.1 — 32.9
Hy-MeC3 (mm)	0.4 ± 4.8	1.4 ± 5.0	-5.5 — 19.6	-11.5 — 13.5
Hy- C3 vertic (mm)	3.4 ± 5.7	4.5 ± 5.7	-5.5 — 23.5	-12.2 — 14.8
GC d/plan Po (°)	124.1 ± 10.4	116.6 ± 11.5	92.0 — 146.0	92.0 — 140.0
GC g/plan Po (°)	123.9 ± 10.1	116.5 ± 12.1	89.0 — 146.0	92.0 — 140.0

Tableau III. 67 : Analyse descriptive des variables déterminant la position verticale de l'os hyoïde.

Position de l'os hyoïde par rapport au ligne Me-C3	Nombre	Fréquence dans l'échantillon	Distance moyenne à Me-C3 (mm)
Au niveau	21	24.4 %	0
Au dessus	30	34.9 %	-3.9
Au dessous	35	40.7 %	5.5

Tableau III. 68 : Position de l'os hyoïde par rapport à la ligne Me-C3 dans l'échantillon total.

La moyenne de l'angle des grandes cornes de l'os hyoïde avec le plan vertical de référence Po est de 124°. Dans l'échantillon total, 24 des 86 individus présentent une différence $\geq 5^\circ$ de cet angle entre le côté droit et le côté gauche, mais seuls 4 des 86 individus ont une différence $\geq 10^\circ$. La fréquence de cette asymétrie dans le groupe d'enfants ou d'adultes n'est pas significativement différente par le test de Fischer (Tableau III.69).

Différence d'inclinaison des grandes cornes	Nombre	Fréquence dans l'échantillon	Test de Fischer exact
Enfants (n= 44)	14	31.8 %	0.645
Adultes (n= 42)	10	23.8 %	

Tableau III. 69 : Différence d'inclinaison des grandes cornes droite et gauche chez les enfants et adultes.

2.4.2. Influence des facteurs biologiques

2.4.2.1. Influence du sexe

La position horizontale de l'os hyoïde est plus antérieure dans le sexe masculin : les distances avec l'angle mandibulaire (Hy-Go), le plan Po, la colonne vertébrale sont plus grandes, mais seule la distance avec la colonne vertébrale l'est significativement ($p < 0.001$). Cette différence reste significative quand nous comparons les deux sexes tous âges confondus ou pour chaque échantillon enfants et adultes pris séparément (Tableau III.70).

Variables de position Échantillons	Hy-Go (mm)	Hy-Gn (mm)	Hy-Rgn (mm)	Hy- Plan Po (mm)	Hy-C3 hor (mm)
Féminin (n=54)	22.5 ± 4.6	45.2 ± 5.0	38.9 ± 4.7	35.7 ± 6.2	30.6 ± 3.5
Masculin (n=32)	24.5 ± 5.4	45.1 ± 6.1	38.5 ± 5.7	36.1 ± 6.7	34.4 ± 5.2
p (Wilcoxon)	0.163	0.744	0.936	0.957	< 0.001
Femmes (n = 28)	21.4 ± 4.0	45.0 ± 5.2	38.7 ± 5.3	34.2 ± 6.1	30.1 ± 4.0
Hommes (n = 14)	23.7 ± 4.8	44.5 ± 6.5	37.1 ± 5.7	36.6 ± 6.9	33.0 ± 4.7
p (t test)	0.455	0.612	0.423	0.423	0.011
Filles (n = 26)	23.6 ± 4.9	45.3 ± 5.0	39.0 ± 4.1	37.1 ± 6.2	31.6 ± 2.8
Garçons (n = 18)	25.6 ± 6.0	45.9 ± 5.8	40.2 ± 5.6	35.3 ± 6.8	36.1 ± 5.5
p (Wilcoxon)	0.136	1	0.511	0.383	0.026

Tableau III. 70 : Comparaison de la position horizontale de l'os hyoïde entre sexes dans l'échantillon total et dans les sous-groupes enfants et adultes

La position verticale de l'os hyoïde présente plus de différences significatives entre les deux sexes. L'os hyoïde est significativement plus bas par rapport à la base du crâne, au plan de Francfort, au maxillaire et à la vertèbre C3 dans le sexe masculin quand nous étudions l'échantillon complet (enfants et adultes confondus). Ces différences significatives persistent dans l'échantillon d'adultes, mais elles ne sont plus significatives dans l'échantillon d'enfants (Tableau III.71).

La position verticale de l'os hyoïde par rapport à la mandibule ou par rapport à la ligne de référence Me-C3 n'est pas significativement différente entre les deux sexes.

L'inclinaison des grandes cornes de l'os hyoïde avec le plan de référence Po ne diffère pas significativement entre les deux sexes, dans l'échantillon complet ou dans chaque échantillon, enfants et adultes, pris séparément.

Variables de position verticales	Filles (n = 26)	Garçons (n = 18)	Femmes (n = 27)	Hommes (n = 15)	Féminin (n=53)	Masculin (n=33)
Hy-S (mm)	92.6 ± 8.3	95.9 ± 9.2	97.1 ± 5.5	107.7 ± 10.3 (3*)	94.9 ± 7.3	101.1 ± 11.2 (3*)
Hy-Fr (mm)	75.0 ± 7.4	77.9 ± 8.7	81.2 ± 5.3	88.4 ± 8.8 (3*)	78.2 ± 7.1	82.5 ± 10.1(*)
Hy-Mx (mm)	53.2 ± 5.8	55.1 ± 7.0	57.2 ± 4.8	64.1 ± 8.4 (3*)	55.3 ± 5.7	59.0 ± 8.7(*)
Hy-GoGn (mm)	15.4 ± 4.4	15.7 ± 5.5	15.5 ± 3.9	18.6 ± 6.4	15.4 ± 4.1	17.0 ± 6.0
Hy-MeC3 (mm)	-0.1 ± 5.1	1.1 ± 4.5	0.7 ± 4.7	2.8 ± 5.3	0.3 ± 4.9	1.8 ± 4.9
Hy- C3 vertic (mm)	2.4 ± 6.2	4.8 ± 4.6	3.1 ± 5.9	7.4 ± 4.2(*)	2.8 ± 6.0	5.9 ± 4.6(*)
GCd/plan Po	124.9 ± 11.6	123.0 ± 8.7	114.9 ± 11.8	120.1 ± 10.7	119.7 ± 12.6	121.7 ± 9.6
GC g/plan Po	124.5 ± 11.1	122.9 ± 8.8	115.1 ± 12.7	119.4 ± 10.9	119.7 ± 12.7	121.4 ± 9.7

Tableau III. 71 : Comparaison de la position verticale de l'os hyoïde entre sexes dans l'échantillon total et les sous-groupes enfants et adultes

(*) : p < 0.05; (2*) : p < 0.01; (3*) : p < 0.005

2.4.2.2 Influence de l'âge

Le tableau III.72 présente la comparaison entre enfants et adultes, pour l'échantillon total et pour chaque sexe séparément.

Nous constatons que, de l'enfant à l'adulte, l'os hyoïde garde une position horizontale relativement stable par rapport à la mandibule, à la colonne vertébrale et au plan référence Po. En effet, les moyennes de ces distances ne sont pas significativement différentes, en particulier, la distance entre l'os hyoïde et le point Gnathion est pratiquement identique entre les filles et les femmes.

La position verticale de l'os hyoïde évolue de l'enfant à l'adulte. L'os hyoïde s'éloigne significativement de la base du crâne, du maxillaire ou du plan de Francfort. Ce déplacement est particulièrement significatif pour le sexe féminin (Tableau III.72, p.195).

En revanche, la relation verticale entre l'os hyoïde et la mandibule (distance hyoïde-mandibule) ne change pas entre enfants et adultes. Cette stabilité de position de l'os hyoïde par rapport à la mandibule (valeur identique entre filles et femmes en particulier) confirme la relation anatomique étroite de ces deux structures et laisse imaginer qu'elles font alors un déplacement commun au cours de la croissance crânio-faciale qui les éloigne de la base du crâne ou du maxillaire.

Il y a plus de sujets ayant l'os hyoïde au niveau de la ligne Me-C3 chez les enfants et plus de sujets ayant l'os hyoïde plus bas chez les adultes, mais cette différence n'est pas significative (test exact de Fischer $p = 0.23$) (Tableau III.73).

	Moyenne enfant (n= 44)	Moyenne adulte (n =42)	p E/A Wilcoxon	Moyenne Filles (n=26)	Moyenne Femmes (n=28)	p F/Fe Wilcoxon	Moyenne Garçons (n =18)	Moyenne Hommes (n =14)	p G/H Wilcoxon
Position horizontale									
Hy-Go	22.3	24.2	0.099	21.4	23.6	0.084	23.7	25.6	0.470
Hy-Gn	44.8	45.5	0.782	45.0	45.3	0.910	44.5	45.9	0.894
Hy-Rgn	38.0	39.4	0.322	38.7	39.0	0.801	37.1	40.2	0.210
Hy- Plan Po	35.2	36.5	0.308	34.2	37.1	0.123	36.6	35.3	0.805
Hy-C3 hor	31.3	32.8	0.346	30.1	31.6	0.377	33.0	36.1	0.184
Position verticale									
Hy-S	94.0	100.6	0.003	92.6	97.1	0.062	95.9	107.7	0.002
Hy-Fr	76.1	83.6	< 0.001	75.0	81.2	0.004	77.9	88.4	0.003
Hy-Mx	54.0	59.5	< 0.001	53.2	57.2	0.014	55.1	64.1	0.004
Hy-GoGn	15.5	16.5	0.484	15.4	15.5	0.917	15.7	18.6	0.224
Hy-MeC3	0.4	1.4	0.128	-0.1	0.7	0.272	1.1	2.8	0.212
Hy- C3 vertic	3.4	4.5	0.167	2.4	3.1	0.34	4.8	7.4	0.087
GC d/plan Po	124.1	116.6	0.002	124.9	114.9	0.002	123.0	120.1	0.556
GC g/plan Po	123.9	116.6	0.002	124.5	115.1	0.002	122.9	119.4	0.322

Tableau III. 72 : Comparaison de la position de l'os hyoïde entre enfants et adultes, dans l'échantillon total et dans les deux sexes.

E/A : Enfant/Adulte; F/Fe : Filles/Femmes ; G/H : Garçons/Hommes

	Enfants			Adultes		
	Nombre	Fréquence	Distance moyenne à Me-C3 (mm)	Nombre	Fréquence	Distance moyenne à Me-C3 (mm)
Au niveau de Me-C3	12	27.3 %	0	9	21.4 %	0
Au dessus de Me-C3	18	40.9%	-3.7	12	28.6 %	-4.2
Au dessous de Me-C3	14	31.8 %	5.8	21	50 %	5.2
Total	44			42		
Test de Fischer	$p = 0.23$					

Tableau III. 73 : Comparaison de la position de l'os hyoïde par rapport à la ligne Me-C3 chez les enfants et chez les adultes.

2.4.2.3. Influence de la posture de la tête

2.4.2.3.1. Variation de la posture céphalique en fonction du sexe et de l'âge

Dans la mesure où seules les vertèbres cervicales jusqu'à la 4^e (C4) sont visibles dans les scans, nous avons utilisé deux variables pour évaluer la posture de la tête : l'angle entre C2 (2^e vertèbre) et la base du crâne, et l'angle entre C2 et C4 (cf. chapitre II.2.3.3.2.2). La moyenne et la dispersion de ces angles dans chaque groupe d'enfants et d'adultes par sexe ainsi que les p du test de Wilcoxon entre sexes, et entre enfants et adultes, sont présentés dans le tableau III.74.

L'angle entre C2 et la base du crâne est significativement plus grand chez les hommes que chez les femmes. En revanche, la différence n'est pas significative entre les filles et les garçons. La courbure cervicale entre C2 et C4 n'est pas significativement différente entre enfants et adultes. Lors d'une comparaison entre sexes, l'angle C2-C4 n'est pas différent entre filles et garçons, il est plus ouvert chez les hommes que chez les femmes mais de manière non significative.

		Moyen ± écart-type		Dispersion		p (Wilcoxon) féminin/masculin
		Féminin	Masculin	Féminin	Masculin	
Échantillon d'enfants	C2-SN (°)	107.1 ± 9.0	108.5 ± 8.5	89 – 128	97 – 127	0.77
	C2-C4 (°)	172.3 ± 6.3	172.3 ± 10.1	156 – 180	137 – 180	0.55
Échantillon d'adultes	C2-SN (°)	106.1 ± 8.0	111.9 ± 9.4	91 – 121	95 – 126	0.05
	C2-C4 (°)	168.9 ± 8.6	173.4 ± 6.3	153 – 180	160 – 180	0.11
p enfants/adultes		0.847		0.273		

Tableau III. 74 : Variations de posture de la tête en fonction du sexe et de l'âge

2.4.2.3.2. Influence de la posture de la tête sur la position horizontale et verticale de l'os hyoïde

Les coefficients de corrélation de Pearson sont calculés entre les variables de position horizontale et verticale de l'os hyoïde et les variables de posture de la tête (angle C2-SN, angle

C2-C4) ne mettent en évidence chez les enfants comme chez les adultes, aucune corrélation forte. L'inclinaison de la deuxième vertèbre cervicale avec la base du crâne ainsi que la courbure entre C2 et C4 n'ont donc pas d'influence sur la position de l'os hyoïde dans notre échantillon d'étude.

2.4.3. Relations entre la position de l'os hyoïde et les dimensions des VAS

Nous recherchons des corrélations entre les dimensions des VAS et les variables de position de l'os hyoïde (distances verticales et horizontales avec les structures crânio-cervico-faciales). La table totale des coefficients de corrélation de Pearson calculés est rapportée dans les annexes III.4 et III.5. Quelques corrélations significatives sont observées :

2.3.4.1. Position horizontale de l'os hyoïde :

Des corrélations significatives sont observées entre les longueurs des coupes inférieure et minimale des VAS et les distances horizontales de l'os hyoïde à la symphyse mandibulaire chez les enfants et chez les adultes ($r > 0.3$), mais aucun des coefficients n'est supérieur à 0.6 (Tableau III.75). Dans l'échantillon d'adultes, les surfaces des coupes intermédiaire, inférieure ou minimale sont également significativement liées aux variables de position horizontale.

Position horizontale de l'os hyoïde		S Cm	S Ci	S Cmin	Long Cm	Long Ci	Long Cmin
Enfants	<i>Hy-Go</i>	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	-0.40	-0.32
	<i>Hy-Gn</i>	(NS)	(NS)	(NS)	0.39	0.33	0.36
	<i>Hy-Rgn</i>	0.38	0.38	0.38	0.42	0.42	0.31
	<i>Hy-Plan Po</i>	(NS)	-0.43	(NS)	(NS)	-0.37	(NS)
	<i>Hy-C3 hor</i>	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)
Adultes	<i>Hy-Go</i>	-0.43	-0.49	-0.49	(NS)	-0.42	-0.31
	<i>Hy-Gn</i>	0.42	0.48	0.45	0.40	0.42	0.35
	<i>Hy-Rgn</i>	0.36	0.41	0.39	0.35	0.37	0.32
	<i>Hy-Plan Po</i>	-0.49	-0.45	-0.39	-0.42	-0.40	-0.30
	<i>Hy-C3 hor</i>	0.34	0.49	0.24	0.37	0.51	(NS)

Tableau III. 75 : Corrélations entre les variables de position horizontale de l'os hyoïde et les dimensions sagittales des VAS.

(NS) : r non significatif, $r \geq 0.3$: significatif à 0.05. $r \geq 0.4$: significatif à 0.01

2.3.4.2. Position verticale

Chez les enfants comme chez les adultes, la hauteur totale des VAS est étroitement corrélée ($r > 0.7$) aux distances verticales entre l'os hyoïde et la base du crâne, le plan de Francfort, le maxillaire, et la mandibule (Tableau III.68). En revanche, pour la position de l'os hyoïde par rapport à la vertèbre C3, le coefficient de corrélation est significatif mais faible ($r < 0.6$). Chez les enfants, des corrélations significatives sont également observées entre les volumes

des VAS et les distances de l'os hyoïde avec la base du crâne, le plan de Francfort, le maxillaire et la mandibule (Tableau III.76).

		V total	V naso	V oro	H totale	H naso	H oro
Échantillon d'enfants	Hy-S	0.49	0.34	0.50	0.76	0.42	0.54
	Hy-Fr	0.47	0.38	0.40	0.70	0.44	0.46
	Hy-Mx	0.46	0.33	0.45	0.77	0.39	0.57
	Hy-Man	0.50	0.32	0.54	0.59	(NS)	0.51
	Hy-MeC3	(NS)	(NS)	(NS)	0.32	(NS)	0.38
	Hy-C3 ver	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)
Échantillon d'adultes	Hy-S	(NS)	(NS)	(NS)	0.70	0.60	0.36
	Hy-Fr	(NS)	(NS)	(NS)	0.77	0.58	0.48
	Hy-Mx	(NS)	(NS)	(NS)	0.81	0.63	0.49
	Hy-Man	(NS)	(NS)	0.40	0.45	(NS)	0.45
	Hy-MeC3	(NS)	(NS)	(NS)	0.60	0.44	0.37
	Hy-C3 ver	(NS)	(NS)	(NS)	0.44	0.40	(NS)

Tableau III. 76 : Corrélations entre les variables de position verticale de l'os hyoïde et les dimensions des VAS
(NS) : r non significatif $r \geq 0.3$: significatif à 0.05. $r \geq 0.4$: significatif à 0.01

2.4.4. Synthèse des observations sur la position de l'os hyoïde

- Dans le sens horizontal, l'os hyoïde est plus antérieur par rapport à l'angle mandibulaire, à la colonne vertébrale ou au plan Po chez les adultes masculins, mais ces différences ne sont significatives que pour la distance avec la vertèbre.
- Dans le sens vertical, l'os hyoïde est significativement plus bas par rapport à la base du crâne, le plan de Francfort et le maxillaire pour le sexe masculin et chez les adultes. La relation avec la mandibule est en revanche stable de l'enfant à l'adulte, suggérant un déplacement commun au cours de la croissance.
- L'inclinaison des grandes cornes par rapport au plan Po ne diffère pas selon sexe ou l'âge, elle peut être différente entre la grande corne droite et la gauche. Une différence de l'ordre de 5° entre l'inclinaison des grandes cornes droite et gauche est observée dans 32 % de l'échantillon d'adultes et dans 24 % de l'échantillon d'enfants étudiés.
- Les corrélations significatives et fortes sont observées entre les hauteurs des VAS et les variables de position verticale de l'os hyoïde. Dans le sens horizontal, les dimensions sagittales des VAS sont corrélées également significativement avec les variables de position horizontales de l'os hyoïde, mais ces corrélations restent faibles.

3. Incidences de la typologie faciale

Après avoir analysé les dimensions des VAS, les dimensions et la position de l'os hyoïde, ainsi que l'influence des facteurs biologiques sur ces variables, nous allons évaluer l'influence de la typologie faciale sur l'ensemble de ces éléments.

Dans un premier temps, la répartition des sujets en fonction de la typologie faciale dans les trois dimensions sera considérée à partir des mesures, réalisées sur les téléradiographies de profil et de face (*cf.* chapitre II.2.2.3.2.1) de la population française.

Nous évaluerons dans un deuxième temps l'influence des différents types sagittaux et verticaux sur les variables des VAS et de l'os hyoïde (dimensions et position) par les tests de Kruskal Wallis et la comparaison deux à deux des différents types. Les coefficients de corrélation calculés entre les mesures faciales d'une part, et les mesures des VAS et de l'os hyoïde d'autre part, seront ensuite présentés afin de compléter l'évaluation des liens entre les typologies faciales et ces mesures. Pour finir, à l'aide d'analyses en composantes principales (ACP), nous tenterons de déterminer quelle typologie a le plus d'influence et sur quelles variables, et si les typologies ont des influences similaires sur les variables des VAS et de l'os hyoïde.

3.1. Répartition des différents types faciaux dans l'échantillon étudié.

3.1.1. Typologie sagittale

La classification du type facial sagittal est basée sur le rapport antéropostérieur entre le maxillaire et la mandibule (Figure III.76). Le nombre et le pourcentage d'individus présentant ces différentes classes squelettiques dans l'échantillon total ou dans les échantillons respectifs d'immaturs et d'adultes sont rapportés dans le tableau III.77.

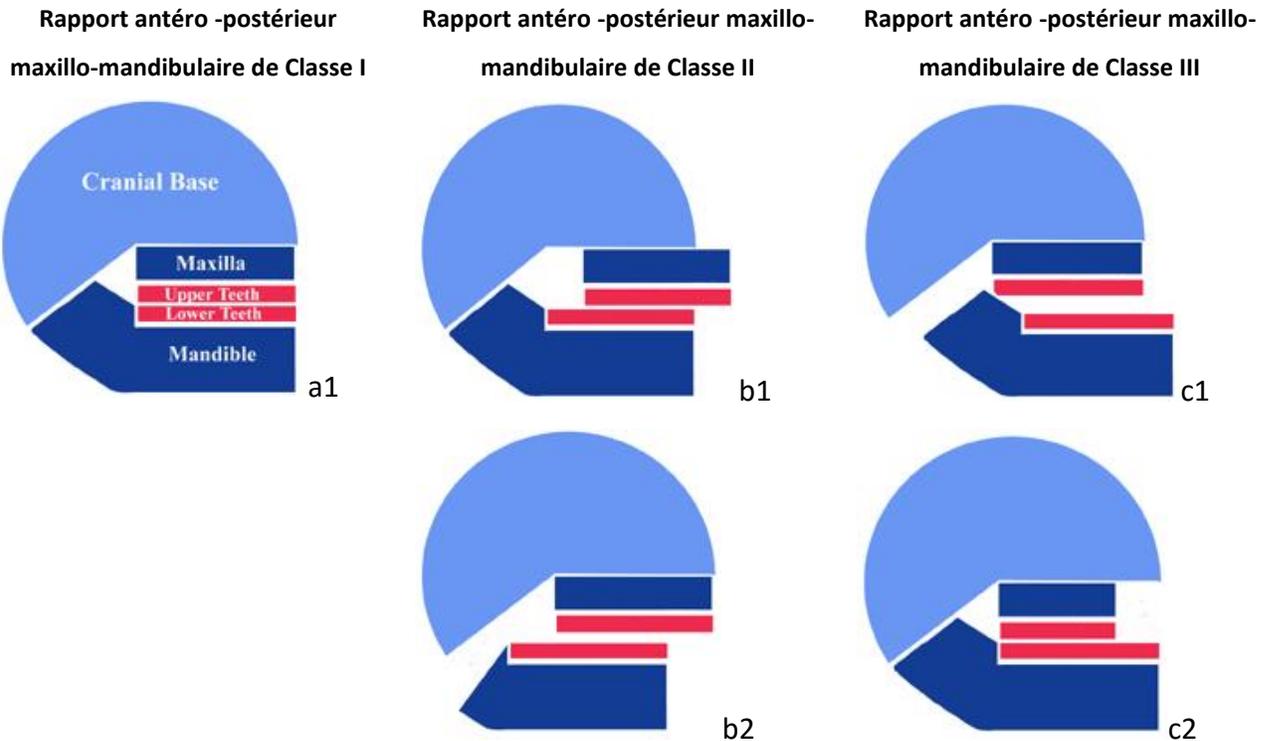


Figure III. 76 : Rapports maxillo-mandibulaires dans les classes squelettiques I, II et III

a1 : rapport harmonieux de classe I,

b1 : prognathie maxillaire (mandibule étant normale) ; b2 : rétrognathie mandibulaire (maxillaire normale)

c1 : prognathie mandibulaire (maxillaire étant normale); c2 : rétrognathie maxillaire (mandibule normale)

	Enfants (n = 44)		Adultes (n = 42)		Échantillon total (n = 86)	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Classe I	23	52.3 %	10	23.8 %	33	38.4 %
Classe II	13	29.5 %	28	66.7 %	41	47.4 %
Classe III	8	18.2 %	4	9.5 %	12	14 %

Tableau III. 77: Répartition des types faciaux sagittaux dans l'échantillon total et les sous groupes d'enfants et d'adultes

Dans notre échantillon, la répartition de ces trois classes squelettiques n'est pas équilibrée. Pour le groupe des immatures, les sujets en classe I sont majoritaires, tandis que chez les adultes, ce sont les sujets ayant le rapport de classe II qui sont majoritaires. La fréquence des classes II chez les enfants n'est pas différente de celle habituellement rapportée dans les populations. En revanche, dans notre échantillon adulte, elle est plus élevée, car il s'agit de sujets suivis pour des traitements orthodontique ou orthodontico-chirurgical.

Les classes III restent minoritaires dans les deux groupes, et particulièrement chez les adultes. Cette fréquence est conforme à la répartition habituelle des classes III squelettiques.

3.1.2. Typologie verticale

Le nombre et la fréquence des individus des différents types de divergence mandibulaire dans l'échantillon total, ou dans les échantillons respectifs enfants et adultes, sont rapportés dans le tableau III.78.

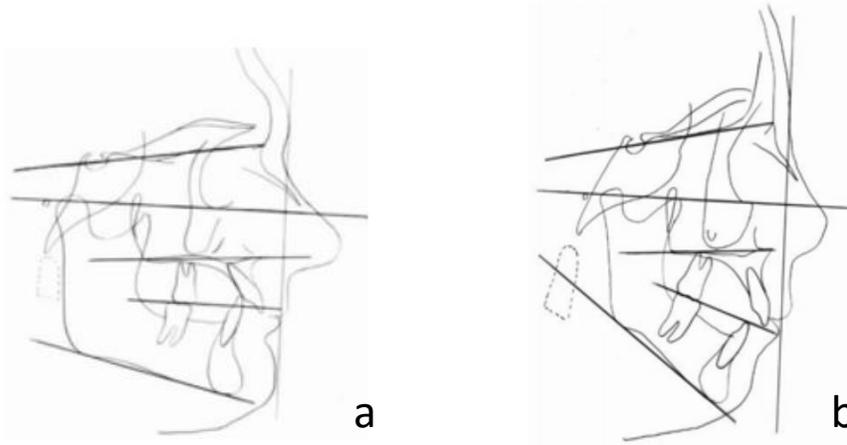


Figure III. 77 : Caractéristiques des typologies verticales.
 a : Rapport vertical hypodivergent (Face courte)
 b : Rapport vertical hyperdivergent (Face longue)

Le groupe d'enfants montre une prédominance de sujets mésodivergents, tandis que les sujets hyperdivergents occupent un pourcentage plus important dans le groupe adulte. Cette fréquence chez les adultes est anormalement élevée en comparaison aux normes rapportées dans des études antérieures (bilan de la HAS 2006). Il s'agit, en effet ici, d'un échantillon d'adultes suivis pour traitement orthodontique.

	Enfants (n = 44)		Adultes (n = 42)		Échantillon total (n = 86)	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Mésodivergent	25	56.8 %	18	42.9 %	43	50 %
Hypodivergent	8	18.2 %	7	14.3 %	15	32.6 %
Hyperdivergent	11	25 %	17	40.5 %	28	16.3 %

Tableau III. 78 : Répartition des types faciaux verticaux dans l'échantillon total et les sous-groupes d'enfants et d'adultes.

3.2. Mesures faciales dans les différents types faciaux.

3.2.1. Mesures faciales sagittales

Les mesures faciales sagittales complémentaires effectuées permettent d'évaluer les liaisons entre les dimensions sagittales de la face et celles des VAS, de l'os hyoïde et la position horizontale de l'os hyoïde. L'analyse descriptive de ces mesures pour chaque classe est résumée dans le tableau III.79.

Les individus en classe III ont de manière générale des mesures antéropostérieures de l'étage inférieur (longueur mandibulaire, distance du Menton au plan Po et à la colonne vertébrale) plus grandes que celles des deux autres classes (conséquence évidente d'une prognathie mandibulaire). En revanche, la profondeur faciale de l'étage moyen (distance ENA-Ar) est significativement plus petite dans les classes III. La valeur p des tests de comparaison de ces moyennes est présentée dans le tableau III.79.

La longueur du maxillaire est significativement plus grande pour les classes II que pour les classe I, mais ne diffère pas significativement entre les classes I et III et entre les classes II et III dans notre échantillon. Le faible effectif des classes III peut être la cause de cette absence de différence.

Les sujets en classe II présentent une profondeur faciale significativement plus grande que les sujets en classe I ou en classe III. Les dimensions de leur étage inférieur (distance Me-Po, Me-C2C4) ne sont pas significativement différentes de celles des sujets en classe I.

		Classe I (23 E 10 A)	Classe II (13 E 28 A)	Classe III (8 E 4 A)	p I vs II	p II vs III	p I vs III
Me - Plan Po	Tous (n= 86)	79.2 ± 5.3	80.2 ± 6.0	85.7 ± 4.4	0.451	0.005	0.001
	Enfants (n=44)	78.0 ± 4.9	76.7 ± 5.1	84.6 ± 4.2	0.445	0.001	0.002
	Adultes (n= 42)	82.0 ± 5.4	81.9 ± 5.7	87.8 ± 4.4	0.9	0.060	0.175
Me-Cerv	Tous	89.8 ± 8.6	91.4 ± 6.4	93.8 ± 9.4	0.369	0.304	0.184
	Enfants	88.6 ± 9.1	88.5 ± 7.4	90.7 ± 8.3	0.969	0.526	0.563
	Adultes	92.6 ± 7.2	92.7 ± 5.6	100.0 ± 9.2	0.9	0.031	0.253
ENA-Ar	Tous	84.0 ± 4.6	86.5 ± 6.4	81.0 ± 8.7	0.010	0.003	0.150
	Enfants	82.9 ± 4.3	85.0 ± 3.9	78.8 ± 9.9	0.166	0.056	0.114
	Adultes	86.4 ± 4.3	87.2 ± 3.6	85.5 ± 3.5	0.5	0.374	0.869
Long Max	Tous	50.7 ± 3.2	52.2 ± 2.6	53.7 ± 10.3	0.040	0.399	0.150
	Enfants	50.3 ± 3.3	52.0 ± 2.8	54.3 ± 12.6	0.137	0.533	0.171
	Adultes	51.8 ± 2.9	52.2 ± 2.6	52.4 ± 3.5	0.6	0.914	0.685
Long Mand	Tous	66.7 ± 4.2	69.0 ± 3.8	70.8 ± 4.9	0.017	0.186	0.008
	Enfants	65.4 ± 3.9	68.7 ± 4.1	69.7 ± 5.6	0.024	0.644	0.024
	Adultes	69.8 ± 3.2	69.2 ± 3.8	73.1 ± 2.0	0.7	0.051	0.070

Tableau III. 79 : Mesures faciales sagittales dans les classes I, II et III (E : Enfant; A : Adulte)

3.2.2. Mesures faciales verticales et transversales

Les mesures verticales complémentaires sont :

- la hauteur totale (distance Nasion-Menton),
- la hauteur de l'étage moyen (distance Nasion-ENA),
- la hauteur de l'étage inférieur (distance ENA-Me)

de la face, mesurées sur le cliché frontal. Sur le même cliché frontal, les mesures des dimensions transversales (largeurs faciales bi-zygomatique et bi-goniaque) sont également effectuées. La moyenne et l'écart-type de ces variables pour chaque type facial dans les groupes enfants ou adultes ou encore dans l'échantillon total sont rapportés dans le tableau III.80.

Nous soulignons des différences très significatives (en rouge) de ces mesures entre les trois types verticaux hypo, hyper et méso divergents, avec une augmentation nette de la hauteur de l'étage inférieur et de la hauteur totale de la face chez les hyperdivergents, et une réduction significative de ces hauteurs chez les hypodivergents.

Les largeurs faciales (bizeygomatique et bigoniaque) ne sont pas significativement différentes entre ces trois classes verticales, exceptée la largeur bi-goniaque significativement plus grande chez les hyperdivergents que chez les mésodivergents.

		Méso	Hypo	Hyper	Méso / hypo	Méso / hyper	Hypo / hyper
Na - Me	<i>Tous</i>	108.5 ± 7.1	102.2 ± 5.7	117.4 ± 7.1	<i>0.002</i>	<i>< 0.001</i>	<i>< 0.001</i>
	<i>Enfants</i>	106.4 ± 5.8	100.8 ± 6.2	114.0 ± 5.7	<i>0.049</i>	<i>0.001</i>	<i>< 0.001</i>
	<i>Adultes</i>	111.7 ± 7.5	103.8 ± 4.9	119.5 ± 7.2	<i>0.018</i>	<i>0.003</i>	<i>< 0.001</i>
Na-ENA	<i>Tous</i>	50.7 ± 3.9	48.4 ± 3.3	53.6 ± 3.4	<i>0.049</i>	<i>0.002</i>	<i>< 0.001</i>
	<i>Enfants</i>	50.0 ± 3.4	46.9 ± 2.4	52.9 ± 3.9	<i>0.025</i>	<i>0.030</i>	<i>0.001</i>
	<i>Adultes</i>	51.6 ± 4.4	50.1 ± 3.4	53.9 ± 3.2	<i>0.446</i>	<i>0.076</i>	<i>< 0.001</i>
ENA-Me	<i>Tous</i>	57.9 ± 5.2	53.7 ± 4.4	63.8 ± 5.3	<i>0.006</i>	<i>< 0.001</i>	<i>< 0.001</i>
	<i>Enfants</i>	56.4 ± 4.7	53.8 ± 5.1	61.0 ± 3.5	<i>0.190</i>	<i>0.006</i>	<i>0.002</i>
	<i>Adultes</i>	60.1 ± 5.0	53.7 ± 4.0	65.6 ± 5.6	<i>0.006</i>	<i>0.005</i>	<i>< 0.001</i>
Larg Zy	<i>Tous</i>	120.9 ± 6.2	121.2 ± 4.2	122.0 ± 5.2	<i>0.865</i>	<i>0.441</i>	<i>0.610</i>
	<i>Enfants</i>	118.3 ± 5.2	119.3 ± 4.0	118.9 ± 4.6	<i>0.638</i>	<i>0.737</i>	<i>0.867</i>
	<i>Adultes</i>	123.9 ± 4.8	123.3 ± 3.5	124.4 ± 6.0	<i>0.659</i>	<i>0.806</i>	<i>0.759</i>
Larg Go	<i>Tous</i>	88.0 ± 5.3	88.0 ± 6.1	91.9 ± 7.7	<i>0.979</i>	<i>0.012</i>	<i>0.094</i>
	<i>Enfants</i>	86.8 ± 4.5	85.9 ± 6.5	89.5 ± 6.3	<i>0.667</i>	<i>0.142</i>	<i>0.233</i>
	<i>Adultes</i>	89.6 ± 5.9	90.4 ± 5.0	93.5 ± 8.2	<i>0.751</i>	<i>0.119</i>	<i>0.376</i>

Tableau III. 80 : Mesures faciales verticales en fonction de la divergence squelettique

3.2.3. Variations selon le sexe et l'âge des dimensions faciales

3.2.3.1. Dimorphisme sexuel des dimensions faciales

Les moyennes et écart-type des dimensions faciales, les p des tests de comparaison entre sexes dans l'échantillon d'enfants ou adultes sont présentés dans le tableau III. 81 pour les dimensions faciales sagittales et dans le tableau III.82 pour les dimensions faciales verticales et transversales.

	Enfants		p filles/ garçons	Adultes		p hommes/ femmes
	Féminin	Masculin		Féminin	Masculin	
Me-Plan Po	78.8 ± 6.0	78.8 ± 5.0	0.984	82.5 ± 5.6	82.3 ± 6.1	0.914
Me-Cerv	89.2 ± 8.2	88.5 ± 8.7	0.771	91.3 ± 5.0	97.5 ± 7.5	0.003
ENA-Ar	82.6 ± 3.8	83.1 ± 8.0	0.773	86.6 ± 3.6	87.5 ± 3.9	0.444
Long Max	50.3 ± 3.1	53.3 ± 8.4	0.102	52.1 ± 2.7	52.1 ± 2.8	0.965
Long Mand	66.4 ± 4.7	68.2 ± 4.4	0.206	68.8 ± 3.3	71.5 ± 3.7	0.023

Tableau III. 81 : Comparaison des dimensions faciales sagittales dans les échantillons d'enfants ou d'adultes en fonction du sexe

	Échantillon d'enfants		p filles/ garçons	Échantillon d'adultes		p hommes/ femmes
	Féminin	Masculin		Féminin	Masculin	
Na-Me	105.9 ± 7.1	109.1 ± 7.2	0.148	109.6 ± 6.4	121.4 ± 8.3	< 0.001
Na-ENA	51.1 ± 10.8	57.7 ± 18.5	0.147	51.1 ± 3.3	54.6 ± 4.4	0.006
ENA-Me	56.8 ± 5.2	57.5 ± 5.1	0.657	58.5 ± 5.2	66.8 ± 5.6	< 0.001
Larg Zy	118.1 ± 4.3	117.3 ± 6.1	0.610	122.8 ± 4.8	126.4 ± 5.0	0.030
Larg Go	86.6 ± 5.1	88.4 ± 5.8	0.283	90.2 ± 5.8	93.6 ± 8.5	0.127

Tableau III. 82 : Comparaison des dimensions faciales verticales et transversales dans les échantillons d'enfants ou d'adultes en fonction du sexe

3.2.3.2. Différences des dimensions faciales entre enfants et adultes

Les dimensions faciales sagittales, dans l'échantillon total, sont dans l'ensemble plus grandes chez les adultes (Tableau III.83). Elles le sont significativement pour la profondeur moyenne (distance ENA-Ar) et inférieure (distance Me-Plan Po) de la face, les longueurs maxillaire et mandibulaire. Quand la comparaison est effectuée au sein de chaque sexe, les différences de longueur maxillaire et de distance Me-Plan Po ne sont plus significatives.

	Moyennes		p	Moyennes			Moyennes		p
	Filles	Femmes		Garçons	Hommes		Enfants	Adultes	
Me-Plan Po	78.8	82.5	0.021	78.8	82.3	0.082	78.8	82.5	0.003
Me-Cerv	89.2	91.3	0.260	88.5	97.5	0.004	88.9	93.4	0.007
ENA-Ar	82.6	86.6	< 0.001	83.1	87.5	0.067	82.8	86.9	< 0.001
Long Max	50.3	52.1	0.023	53.3	52.1	0.609	51.5	52.1	0.563
Long Mand	66.4	68.8	0.033	68.2	71.5	0.033	67.1	69.7	0.006

Tableau III. 83 : Comparaison des dimensions faciales sagittales chez les enfants et les adultes

Pour les dimensions faciales verticales et transversales, dans l'échantillon total, les hauteurs faciale totale ou de l'étage inférieur et les largeurs faciales sont significativement plus grandes chez les adultes (Tableau III.84). Quand nous comparons entre filles et femmes ou entre garçons et hommes, les différences entre filles et femmes des hauteurs des deux étages de la face ne sont pas significatives. En revanche, la différence entre garçons et hommes pour la hauteur de l'étage inférieur de la face est très significative, avec une augmentation moyenne de 9.3 mm ($p < 0.001$).

	Moyennes		p	Moyennes		p	Moyennes		p
	Filles	Femmes		Garçons	Hommes		Enfants	Adultes	
Na-Me	105.9	109.6	0.046	109.1	121.4	< 0.001	107.2	113.5	< 0.001
Na-ENA	51.1	51.1	0.999	57.7	54.6	0.551	53.8	52.3	0.519
ENA-Me	56.8	58.5	0.233	57.5	66.8	< 0.001	57.1	61.3	0.001
Larg Zy	118.1	122.8	< 0.001	117.3	126.4	< 0.001	117.8	124.0	< 0.001
Larg Go	86.6	90.2	0.019	88.4	93.6	0.046	87.3	91.3	0.003

Tableau III. 84 : Comparaison des dimensions faciales verticales et transversales chez les enfants et les adultes

3.3. Influence de la typologie faciale sagittale

3.3.1. Influence sur les dimensions des VAS

3.3.1.1. Comparaison des dimensions des VAS dans les trois types sagittaux

Chez les enfants, le résultat des tests de Kruskal Wallis met en évidence une différence significative entre les classes I, II et III pour la hauteur totale, le volume du naso-pharynx, la largeur de la coupe minimale ainsi que le rapport largeur/longueur de la coupe inférieure (Tableau III.85). Les tests post-hoc de comparaison entre les classes deux à deux (classe I avec classe II, classe I avec classe III, classe II avec classe III) permettent de préciser que ce résultat est dû aux fortes différences entre les classes I et les classes II. En effet, les sujets de type classe II squelettique présentent un rapport largeur/longueur des coupes inférieures des VAS plus grand

que chez les sujets de type classe I. Il s'agit de la conséquence d'un phénomène double, à savoir une longueur antéropostérieure plus petite et une largeur plus grande de cette coupe.

Chez les adultes, le test de Kruskal Wallis ne met pas en évidence de différence de dimension des VAS entre les trois classes squelettiques. L'échantillon réduit des classes III chez les adultes (4 individus) explique sans doute ce résultat. Un test de Wilcoxon est alors mené entre les groupes de classe I et II mais ne révèle pas de différence significative.

	Enfants				Adultes				
	Classe I n = 23	Classe II n = 13	Classe III n = 8	p (KW)	Classe I n = 10	Classe II n = 28	Classe III n = 4	p (KW)	p I vs II
V total	9801.3	11871.0	17660.9	0.07	13644.7	13230.4	19950.4	0.46	0.94
V naso	6202.6	7597.2	10163.2	0.05	9436.5	8568.9	11177.5	0.38	0.48
V oro	3600.8	4230.5	7497.7	0.31	4208.2	4648.6	8772.8	0.53	0.48
S Cs	350.4	433.7	519.1	0.08	528.0	529.4	507.9	0.98	0.44
S Cm	218.4	237.7	320.7	0.34	292.2	264.1	373.9	0.60	0.65
S Ci	269.0	250.7	344.9	0.31	333.9	301.3	397.3	0.59	0.24
S Cmin	173.1	197.1	215.2	0.38	230.0	192.9	248.0	0.46	0.23
Htotal	39.7*	44.7*	51.9	0.02	44.7	46.3	51.7	0.20	0.57
H naso	25.1	26.2	31.0	0.27	29.5	29.5	30.3	0.97	0.50
H oro	14.6	18.6	20.9	0.08	15.2	16.9	21.4	0.18	0.61
Long Cs	14.9	15.7	16.8	0.73	19.5	19.5	15.9	0.11	0.68
Long Cm	10.4	10.6	11.3	0.43	11.1	10.0	12.8	0.28	1.00
Long Ci	12.3	10.6	13.7	0.11	13.0	12.0	15.2	0.32	0.70
Long Cmin	9.0	9.0	8.9	0.57	8.9	8.1	10.2	0.54	0.44
Larg Cs	23.4	24.4	27.0	0.08	28.0	26.3	26.3	0.72	0.80
Larg Cm	21.1	23.2	25.7	0.45	25.4	24.0	27.5	0.68	0.46
Larg Ci	24.6	27.4	28.6	0.12	26.8	28.2	29.9	0.69	0.96
Larg Cmin	20.2	25.0	25.4	0.05	24.7	24.2	27.4	0.65	0.47
Rapport Cs	1.7	1.6	1.6	0.96	1.5	1.4	1.7	0.19	0.29
Rapport Cm	2.1	2.4	2.0	0.43	2.4	2.6	2.3	0.73	0.61
Rapport Ci	2.1*	2.6*	2.4	0.004	2.1	2.5	2.1	0.23	0.10
Rapport Cmin	2.4	3.0	2.8	0.42	3.2	3.4	2.9	0.83	0.68

Tableau III. 85 : Comparaison des dimensions des VAS en fonction de la classe squelettique chez les enfants et les adultes.

KW : test Kruskal Wallis entre 3 types. Les mesures porteuses de (*) indiquent une différence significative entre les deux classes par les tests post-hoc.

Comparaison entre les classes I et classes II chez les adultes par le test de Wilcoxon

En analysant les moyennes des trois classes, nous pouvons remarquer que chez les enfants, comme chez les adultes, les individus en classe III présentent des volumes totaux des VAS et de l'oropharynx plus grands (Tableau III.85). La hauteur totale et la hauteur de l'oropharynx sont également supérieures dans les classes III, mais cette différence pour l'étage de l'oropharynx n'est significative que dans le groupe d'enfants (Tableau III.85).

3.2.1.2. Corrélations entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales sagittales

Les coefficients de corrélation de Pearson sont calculés pour vérifier l'influence des mesures faciales sur les dimensions des VAS. La matrice des corrélations est établie entre les mesures faciales sagittales : profondeur faciale, distance de point Menton à la colonne vertébrale et au plan Po, longueurs du maxillaire et de la mandibule avec les mesures des VAS : volume, surfaces, et longueurs des coupes aux quatre niveaux des VAS étudiés (cf. Annexe III.6 et III.7).

Entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales sagittales, des corrélations significatives sont observées entre la distance Menton - colonne vertébrale (mesures faciales sagittales) et les dimensions de l'oropharynx (volume, surfaces, longueurs antéro-postérieures et largeurs des coupes intermédiaire, inférieure, ou la plus petite des VAS) chez les adultes (Tableau III.86), mais un r égal à 0.6 n'est observé qu'entre la surface de la coupe inférieure et la distance Me-Colonne vertébrale. Chez les enfants, aucune corrélation significative n'est mise en évidence.

Corrélation de distance Me-Cerv	Échantillon total $n = 86$	Enfant $n = 44$	Adulte $n = 42$
V total	0.52	0.41	0.56
V naso	0.43	0.36	0.39
V oro	0.47	0.32	0.59
S Cm	0.44	0.31	0.53
S Ci	0.46	(NS)	0.6
S Cmin	0.37	0.31	0.43
Long Cm	0.42	0.3	0.55
Long Ci	0.42	(NS)	0.57
Long Cmin	(NS)	(NS)	0.35
Larg Cm	(NS)	(NS)	0.41
Larg Ci	0.45	(NS)	0.59
Larg Cmin	0.36	(NS)	0.44

Tableau III. 86 : Coefficients de corrélation entre la distance Menton-Colonne vertébrale et les dimensions de l'oropharynx
(NS) : r non significatif.

3.3.2. Influence sur les dimensions de l'os hyoïde

3.3.2.1. Comparaison des dimensions de l'os hyoïde entre les classes squelettiques

La comparaison entre les classes I, II et III des dimensions de l'os hyoïde par le test de Kruskal Wallis ne met en évidence aucune différence significative, ni dans le groupe d'enfants ni dans celui d'adultes (Tableau III.87).

En comparant les moyennes, nous constatons que chez les adultes, la longueur totale ainsi que la longueur des grandes cornes sont plus grandes chez les individus en classe III

d'environ 3 à 4 mm (Tableau III.87). Cette différence reste cependant non significative ($p = 0.06$). Les individus de type classe II sont ceux qui présentent les longueurs hyoïdiennes les plus petites.

	Échantillon enfants				Échantillon adultes			
	Classe I <i>n</i> = 23	Classe II <i>n</i> = 13	Classe III <i>n</i> = 8	<i>p</i> (KW)	Classe I <i>n</i> = 10	Classe II <i>n</i> = 28	Classe III <i>n</i> = 4	<i>p</i> (KW)
Larg totale (mm)	35.5	37.0	38.6	0.56	39.2	40.5	41.2	0.64
Larg ant (mm)	19.0	19.8	19.4	0.43	19.0	19.0	20.6	0.42
Long totale (mm)	28.5	28.9	28.5	0.98	32.6	31.7	35.7	0.06
Long lat d (mm)	34.0	34.6	34.7	0.92	37.7	38.0	41.0	0.26
Long lat g (mm)	33.5	34.1	34.3	0.76	37.1	37.4	41.7	0.12
Long GCd (mm)	21.6	21.9	22.0	0.94	24.8	25.7	28.5	0.12
Long GCg (mm)	21.3	21.9	22.7	0.72	24.7	25.3	29.1	0.07
Long ant (mm)	9.1	9.0	9.1	0.97	9.6	8.87	9.20	0.41
Hy Angle (°)	64.3	65.4	68.1	0.66	61.5	65.1	59.5	0.31
Angle GC (°)	51.8	49.4	63.1	0.18	48.5	50.6	42.4	0.20
Larg totale/Long totale	1.3	1.29	1.4	0.62	1.21	1.29	1.15	0.41
Larg ant/Larg totale	0.54	0.54	0.5	0.30	0.48	0.47	0.50	0.30

Tableau III. 87 : Comparaison des dimensions de l'os hyoïde en fonction de la classe squelettique dans les groupes d'enfants et d'adultes

3.3.2.2. Corrélations entre les variables dimensionnelles de l'os hyoïde et les dimensions faciales sagittales

Des corrélations sont recherchées entre les mesures faciales sagittales et les mesures sagittales de l'os hyoïde. Le tableau III.88 résume les coefficients de corrélations trouvés (cf. Annexe III.8, III.9).

D'une manière générale, les enfants présentent des corrélations significatives ($r > 0.3$) mais qui restent faibles (r ne dépasse pas 0.6) entre les dimensions de l'os hyoïde et les dimensions faciales mandibulaires (longueur mandibulaire, distance avec plan Po ou colonne vertébrale), tandis que ce n'est pas le cas avec la longueur maxillaire. Chez les adultes, les longueurs de l'os hyoïde ne sont corrélées significativement qu'avec la distance Menton-colonne vertébrale.

	Longueur Max		Longueur Mand		Me- Plan Po		Me-C2C4	
	Enfants <i>n</i> = 44	Adultes <i>n</i> = 42						
Long total	(NS)	(NS)	0.38	(NS)	0.41	(NS)	0.49	0.35
Long lat d	(NS)	(NS)	0.40	(NS)	0.44	(NS)	0.51	0.33
Long lat g	(NS)	(NS)	0.37	(NS)	0.43	(NS)	0.50	0.44
Long GC d	(NS)	(NS)	0.45	(NS)	0.45	(NS)	0.57	(NS)
Long GCg	(NS)	(NS)	0.50	(NS)	0.45	(NS)	0.57	0.33

Tableau III. 88 : Coefficients de corrélation entre les dimensions de l'os hyoïde et les mesures faciales sagittales (NS) : r non significatif

3.3.3. Influence sur la position de l'os hyoïde

3.3.3.1. Comparaison des variables de position de l'os hyoïde selon la typologie sagittale

La position horizontale de l'os hyoïde ne présente pas de différence significative entre les classes I, II et III.

Chez les enfants : une seule différence significative entre trois types faciaux est observée pour une variable de position verticale, la distance hyoïde-maxillaire. Cette distance est significativement plus grande chez les sujets de classe II que chez les sujets de classe I. Quelques différences non significatives peuvent attirer l'attention :

- la position horizontale : les enfants des classes III présentent des os hyoïdes plus antérieurs comparés aux enfants en classes I et II. En effet, les distances de l'os hyoïde par rapport à l'angle goniale et au plan Po sont plus grandes. La distance horizontale avec la vertèbre cervicale n'est en revanche pas plus grande chez les enfants en classe III.
- la position verticale : seule la position par rapport à la vertèbre C3 est plus basse dans les classes III. Les enfants en classe II présentent une position verticale de l'os hyoïde par rapport à la base du crâne, au plan de Francfort, au maxillaire et à la mandibule plus basse. Ces différences non significatives, peuvent être dues à l'influence du type facial vertical, car 38 % de ces enfants de classe II sont également des hyperdivergents (*cf.* Annexe III.10 pour le tableau détaillé des types faciaux).

Chez les adultes : aucune différence significative n'est trouvée entre les classes I, II et III pour les positions horizontale ou verticale de l'os hyoïde (Tableau III.89). En comparant les moyennes, nous pouvons cependant remarquer quelques tendances :

- la position horizontale : les individus des classes II et III présentent des os hyoïdes plus postérieurs que ceux des classes I, avec une distance de l'os hyoïde à l'angle mandibulaire plus petite et une distance avec le menton plus grande.
- la position verticale :
 - par rapport à la base du crâne, au plan de Francfort et au maxillaire, les classes III présentent les distances Hy-S, Hy Fr, Hy-Max les plus grandes (l'os hyoïde est donc plus bas chez eux) mais la différence n'est pas significative (le faible effectif des classes III chez le groupes d'adultes peut expliquer ce manque de significativité) ;
 - par rapport à la mandibule, la distance Hy-GoGn est plus grande chez les classes III que chez les classes II (21 mm chez les classes III contre 15.7 mm chez les classes II) ;
 - par rapport à la 3^e vertèbre cervicale les classes III sont également caractérisées par une position de l'os hyoïde plus basse que les classes II.

L'inclinaison des grandes cornes de l'os hyoïde avec le plan Po ne présente pas de différence significative entre les classe I, II et III.

	Échantillon enfants				Échantillon adultes			
	Classe I <i>n</i> = 23	Classe II <i>n</i> = 13	Classe III <i>n</i> = 8	<i>p</i> (KW)	Classe I <i>n</i> = 10	Classe II <i>n</i> = 28	Classe III <i>n</i> = 4	<i>p</i> (KW)
Position horizontale								
Hy-Go	21.2	23.3	23.9	0.34	25.9	23.9	22.4	0.086
Hy-Gn	44.2	45.4	45.8	0.731	44.1	45.3	50.8	0.126
Hy-Rgn	37.3	39.0	38.8	0.708	38.5	39.1	44.1	0.143
Hy- Plan Po	34.7	34.8	37.3	0.529	38.2	35.8	37.4	0.593
Hy-C3 hor	31.8	31.2	30.1	0.483	33.9	31.9	36.5	0.179
Position verticale								
Hy-S	91.3	97.0	96.7	0.153	103.3	98.8	106.0	0.1
Hy-Fr	73.7	80.0	76.9	0.092	83.9	82.7	89.2	0.338
Hy-Mx	52.1*	57.5*	53.6	0.042	61.0	58.2	64.4	0.183
Hy-GoGn	14.4	17.4	15.9	0.238	17.1	15.7	21.0	0.347
Hy-MeC3	0.0	0.6	0.9	0.4	2.2	0.9	3.4	0.718
Hy- C3 vert	3.4	1.5	6.2	0.143	6.0	4.00	4.4	0.657
GC d/ plan Po	122.2	126.4	126.0	0.286	118.2	116.5	113.5	0.767
GC g/ plan Po	122.7	125.4	125.0	0.413	116.6	116.7	115.8	0.961

Tableau III. 89 : Comparaison des positions de l'os hyoïde dans les classe I, II et III chez les enfants et les adultes

3.3.3.2. Corrélations entre les variables de position de l'os hyoïde et les variables faciales sagittales

Des corrélations significatives étroites sont observées entre les variables de position horizontale de l'os hyoïde par rapport à la mandibule et la distance du Menton à la colonne vertébrale (profondeur faciale inférieure) chez les enfants et chez les adultes (Tableau III.90) (cf. tableau complet des valeurs de *r* dans l'annexe III.12 et III.13).

Dans les deux échantillons d'enfants et d'adultes, la position horizontale de l'os hyoïde par rapport à la symphyse mandibulaire (Hy-Gn, Hy-Rgn) est positivement corrélée avec la position de celle-ci par rapport à la colonne vertébrale. La position de l'os hyoïde par rapport à la vertèbre C3 est également positivement très corrélée avec la position de la symphyse par rapport à la colonne vertébrale (distance Me-C2-C4), spécialement chez les adultes (*r* = 0.72). Ces corrélations étroites prouvent l'hypothèse du déplacement commun de la mandibule et de l'os hyoïde. Chez les enfants, des corrélations fortes entre la distance hyoïde - symphyse et la longueur mandibulaire sont également observées.

La position verticale de l'os hyoïde ne présente pas de corrélations étroites avec les mesures faciales sagittales.

Position horizontale de l'os hyoïde	Longueur Mand (Go-Gn)		Me- Plan Po		Me-C2C4	
	Enfants n = 44	Adultes n = 42	Enfants n = 44	Adultes n = 42	Enfants n = 44	Adultes n = 42
Hy-Gn	0.64	(NS)	0.41	(NS)	0.69	0.67
Hy-RGn	0.63	(NS)	0.35	0.32	0.7	0.68
Hy-Plan Po	(NS)	(NS)	(NS)	0.54	(NS)	-0.33
Hy- C3 hor	0.39	(NS)	0.32	(NS)	0.55	0.72

Tableau III. 90 : Coefficients de corrélation entre les mesures de position horizontale de l'os hyoïde et les mesures faciales sagittales.

(NS) : r non significatif.

3.3.4. Synthèse de l'incidence de la typologie sagittale

La comparaison des dimensions des VAS, de l'os hyoïde ou encore de la position de l'os hyoïde entre les classes squelettiques ne révèle que peu de différences significatives. En revanche, les coefficients de corrélation montrent qu'il existe des liens étroits entre les dimensions antéropostérieures de l'os hyoïde et des VAS et les dimensions faciales sagittales, et que les corrélations sont plus importantes chez les enfants. Les positions horizontales de l'os hyoïde par rapport à la symphyse ou à la colonne vertébrale présentent des corrélations étroites avec la longueur mandibulaire, la profondeur faciale inférieure ainsi que la distance menton-colonne vertébrale chez les enfants et adultes.

3.4. Influence de la typologie faciale verticale

3.4.1. Influence sur les dimensions des VAS

3.4.1.1. Comparaison des dimensions VAS en fonction de la typologie verticale

Les moyennes des dimensions des VAS dans les trois types verticaux (mésodivergent, hypodivergent et hyperdivergent) et les p des tests de comparaison de Kruskal Wallis sont présentés dans le tableau III.91.

Dans le groupe d'enfants, des différences significatives sont trouvées pour les variables de volume de l'oropharynx, les hauteurs totale et de l'oropharynx, la largeur de la coupe inférieure des VAS. Le test post-hoc précise que le volume et la hauteur de l'étage oropharynx, la hauteur totale des VAS sont significativement plus grands chez les hyperdivergents. La largeur de la coupe minimale est plus grande chez les hypodivergents que chez les mésodivergents.

	<i>Enfants</i>				<i>Adultes</i>			
	<i>Meso</i> <i>n = 25</i>	<i>Hypo</i> <i>n = 8</i>	<i>Hyper</i> <i>n = 11</i>	<i>p (KW)</i>	<i>Meso</i> <i>n = 18</i>	<i>Hypo</i> <i>n = 7</i>	<i>Hyper</i> <i>n = 17</i>	<i>p (KW)</i>
V total	10201.9	10795.0	12426.3	0.184	14622.9	12951.7	13855.0	0.956
V naso	6831.5	6989.9	7108.6	0.893	9148.1	8783.8	9035.7	0.851
V oro	3366.8*	3802.9	5281.0*	0.012	5454.8	4167.9	4819.3	0.957
S Cs	384.1	398.1	388.0	0.939	521.1	579.1	497.4	0.394
S Cm	222.1	257.2	238.0	0.306	303.5	242.5	280.4	0.624
S Ci	250.9	268.9	310.8	0.075	333.8	285.7	321.5	0.667
S Cmin	176.6	204.2	187.8	0.487	207.1	179.2	226.7	0.983
Htotal	41.1*	38.4*	46.2*	0.009	46.5	47.2	45.7	0.973
H naso	26.3	23.2	26.5	0.244	30.1	30.2	28.6	0.704
H oro	14.9	15.2*	19.8*	0.029	16.4	17.0	17.5	0.678
Long Cs	14.7	17.1	15.5	0.16	18.2	21.1	19.0	0.141
Long Cm	10.9	10.8	10.2	0.674	10.5	9.8	11.0	0.489
Long Ci	11.3	11.8	12.6	0.259	13.0	11.8	12.5	0.466
Long Cmin	9.4	9.5	8.3	0.384	8.2	7.6	9.5	0.894
Larg Cs	24.2	23.9	24.3	0.682	25.8	27.6	27.2	0.164
Larg Cm	19.6*	25.2*	23.7	0.013	25.5	22.9	24.9	0.822
Larg Ci	25.3	25.5	28.0	0.177	28.8	27.1	27.6	0.421
Larg Cmin	20.8	24.2	23.2	0.237	25.1	22.7	25.4	0.943
Ratio Cs	1.7	1.6	1.6	0.152	1.5	1.3	1.5	0.809
Ratio Cm	2.0	2.4	2.4	0.088	2.6	2.6	2.4	0.339
Ratio Ci	2.4	2.3	2.3	0.939	2.4	2.5	2.3	0.359
Ratio Cmin	2.5	2.7	2.9	0.156	3.6	3.3	3.0	0.538

Tableau III. 91 : Comparaison des dimensions des VAS en fonction de la divergence chez les enfants et les adultes.
 KW : test Kruskal Wallis entre 3 types. Les mesures portant le * indiquent que la différence est significative entre les deux classes précisées par les tests post-hoc

3.4.1.2. Les corrélations entre les VAS et les variables faciales verticales

Les coefficients de corrélation entre les hauteurs faciales et les dimensions des VAS (volumes, surfaces, hauteurs des VAS) sont calculées, le tableau total des valeurs des corrélations est dans les annexes III.14 et III.15. Nous remarquons que les volumes et les surfaces des VAS n'ont pas de corrélation significative avec les mesures faciales verticales.

Ce sont les coefficients entre les hauteurs de la face (hauteur totale, hauteur des étages moyen et inférieur de la face) et celles des VAS (hauteur totale des VAS, hauteur du nasopharynx et de l'oropharynx) chez les enfants, chez les adultes et dans l'échantillon total qui attirent notre attention.

Chez les enfants, la hauteur totale des VAS et la hauteur de l'oropharynx présentent des corrélations positives significatives ($r \sim 0.6$) avec la hauteur totale et celle de l'étage inférieur de la face (Tableau III.92). En revanche, la hauteur faciale moyenne ne présente pas de corrélation avec la hauteur du nasopharynx ($r < 0.1$).

Chez les adultes, les coefficients de corrélation sont inférieurs à ceux des enfants.

	Hauteur VAS total			Hauteur nasopharynx			Hauteur oropharynx		
	Total	Enfant	Adulte	Total	Enfant	Adulte	Total	Enfant	Adulte
Hauteur face total	0.59	0.57	0.49	0.46	(-)	0.42	0.35	0.43	(-)
Hauteur face Inf	0.57	0.61	0.43	0.46	(-)	0.45	0.32	0.5	(-)

Tableau III. 92 : Coefficients de corrélation des dimensions des VAS avec les mesures faciales verticales

3.4.2. Influence sur les dimensions de l'os hyoïde

Le tableau III.93 présente les moyennes des dimensions de l'os hyoïde pour chaque type vertical, mésodivergent, hypodivergent et hyperdivergent, ainsi que les p des tests de Kruskal Wallis de comparaison de ces trois groupes.

Dans l'échantillon d'enfants, aucune différence des dimensions de l'os hyoïde entre les trois types faciaux verticaux n'est observée.

Dans l'échantillon d'adultes, la longueur antérieure des os hyoïdes diffère significativement entre les trois types faciaux. Plus précisément, les sujets hyperdivergents ont une longueur significativement plus grande que les sujets hypodivergents (par le test post-hoc). Toutes les autres dimensions de l'os hyoïde ne sont pas différentes entre les trois types verticaux.

	Enfants				Adultes			
	Meso n = 25	Hypo n = 8	Hyper n = 11	p (KW)	Meso n = 18	Hypo n = 7	Hyper n = 17	p (KW)
Larg totale (mm)	35.85	36.12	38.18	0.501	39.69	41.44	40.42	0.799
Larg ant (mm)	19.29	18.86	19.68	0.68	18.90	18.51	19.73	0.506
Larg ant pr (mm)	19.29	18.80	19.62	0.657	18.84	18.49	19.65	0.495
Long totale (mm)	28.34	29.06	28.97	0.804	31.88	31.35	33.04	0.401
Long lat d (mm)	34.01	34.80	34.57	0.634	37.58	38.22	38.91	0.495
Long lat g (mm)	33.27	33.98	34.77	0.605	37.73	37.09	37.99	0.8
Long GCd (mm)	21.10	23.07	22.23	0.226	25.47	26.44	25.77	0.689
Long GCg (mm)	21.21	22.36	22.57	0.22	25.71	25.31	25.38	0.998
Long ant (mm)	9.27	8.48	8.93	0.371	8.83	8.30*	9.63*	0.042
Hy Angle (°)	65.08	64.11	66.79	0.893	63.57	66.90	62.57	0.467
Angle GC (°)	52.68	47.16	58.49	0.319	48.53	52.73	48.78	0.555
Larg totale/Long totale	1.29	1.27	1.33	0.902	1.25	1.33	1.24	0.531
Larg ant/ Larg totale	0.54	0.53	0.52	0.451	0.48	0.45	0.49	0.229

Tableau III. 93 : Comparaison des dimensions de l'os hyoïde en fonction de la divergence chez les enfants et les adultes.

KW : test Kruskal Wallis entre 3 types. Les mesures portant le (*) indiquent que la différence est significative entre les deux groupes signalés par les tests post-hoc.

3.4.3. Influence sur la position de l'os hyoïde

3.4.3.1. Comparaison des mesures de position de l'os hyoïde

La position horizontale et surtout verticale de l'os hyoïde présente des différences significatives entre les différents types de divergence faciale, chez les enfants et chez les adultes (Tableau III.94).

- Horizontalement : la position de l'os hyoïde n'est pas significativement différente entre les sujets mésodivergents, hypodivergents ou hyperdivergents, que ce soit dans l'échantillon d'enfants ou celui d'adultes. La comparaison des moyennes montre que, chez les enfants comme chez les adultes, l'os hyoïde est légèrement plus antérieur par rapport à l'angle mandibulaire chez les hyperdivergents (distance Hy-Rgn la plus petite) et plus postérieur chez les hypodivergents (distance Hy-Go la plus petite).
 - Dans le sens vertical, des différences significatives de position de l'os sont observées chez les enfants et chez les adultes :
 - Chez les enfants:
 - Par rapport à la base du crâne, au maxillaire et à la mandibule, l'os hyoïde est situé plus bas chez les hyperdivergents et plus haut chez les hypodivergents. La différence est significative pour les distances de l'os hyoïde avec la base du crâne et le maxillaire. Le test post-hoc réalisé précise que les sujets hyperdivergents ont des distances significativement plus grandes que celles des sujets hypodivergents.
 - Par rapport à la vertèbre C3 et la ligne Me-C3, la distance de l'os hyoïde est aussi plus grande chez les hyperdivergents, mais la différence n'est pas significative.
 - Chez les adultes :
 - Par rapport à la base du crâne, au maxillaire et à la mandibule, les mêmes différences que chez les enfants sont constatées mais elles ne sont pas significatives.
 - En revanche, l'angle d'inclinaison des grandes cornes de l'os hyoïde par rapport au plan Po est significativement plus grand chez les hyperdivergents et significativement plus petit chez les hypodivergents (Tableau III.94). La divergence faciale influence alors l'orientation de l'os hyoïde et l'inclinaison de l'os hyoïde suit l'inclinaison mandibulaire.
- La courbure cervicale est significativement plus rectiligne chez les hyperdivergents que pour les deux autres types faciaux, que ce soit dans le groupe d'enfants ou d'adultes.

	Enfants				Adultes			
	Meso n = 25	Hypo n = 8	Hyper n = 11	p (KW)	Meso n = 18	Hypo n = 7	Hyper n = 17	p (KW)
Position horizontale								
Hy-Go	22.7	19.2	23.8	0.145	28.7	22.0	26.7	0.145
Hy-Gn	44.9	46.9	43.3	0.5	46.6	47.2	43.7	0.199
Hy-Rgn	37.5	39.0	38.4	0.948	41.1	39.5	37.6	0.112
Hy- Plan Po	36.8	33.9	32.5	0.2	36.2	39.0	35.8	0.358
Hy-C3 hor	31.0	32.2	31.3	0.835	32.8	30.9	33.6	0.509
Position verticale								
Hy-S	93.0 ^a	89.6 ^a	99.3 [*]	0.044	99.9	96.4	103.1	0.343
Hy-Fr	75.9	72.4	79.4	0.206	84.1	79.5	84.8	0.379
Hy-Mx	53.3	50.9 [*]	57.7 [*]	0.06	59.3	56.7	60.8	0.598
Hy-GoGn	14.9	13.5	18.4	0.154	17.3	13.7	16.8	0.247
Hy-MeC3	0.2	0.1	0.8	0.936	2.0	1.5	0.8	0.787
Hy- C3 vert	3.7	1.3	4.0	0.393	3.1	3.0	6.7	0.173
Angle C2-SN	105.4 ^a	105.6 ^a	114.5 [*]	0.019	107.8 ^a	100.1 ^a	111.5 [*]	0.017
Angle C2-C4	156.0	172.8	144.5	0.121	169.8	163.0	173.0	0.134
GC d/ plan Po	123.7	123.6	125.5	0.593	112.8 ^a	114.0 ^a	121.8 [*]	0.047
GC g/ plan Po	123.6	124.6	124.1	0.927	113.8	113.7	120.6	0.195

Tableau III. 94 : Comparaison des positions de l'os hyoïde dans les trois types faciaux verticaux chez le groupe d'enfants et d'adultes.

KW : test Kruskal Wallis entre 3 types. Les mesures portant le (*) indique la différence significative entre les deux classes par les tests post-hoc, les mesures portant la même lettre (a) indiquent qu'elles ne sont pas significativement différentes par le post-hoc.

3.4.3.2. Corrélations entre les variables de position de l'os hyoïde et les variables faciales verticales

Les variables de position horizontale de l'os hyoïde ne présentent pas de corrélations intéressantes avec les mesures faciales verticales. En revanche, des corrélations significatives et importantes sont observées pour les variables de position verticale de l'os hyoïde avec les mesures faciales verticales (Tableau III.95).

Nous recherchons également les corrélations entre les valeurs des angles d'inclinaison des grandes cornes de l'os hyoïde (angle GC / plan Po), celles des angles de divergence faciale (FMA, SN-GoGn, Bispinal) et des angles de postures cervicales (angle C2-SN, angle C2-C4). Ces coefficients ne sont pas significatifs selon ces tests, que ce soit dans l'échantillon d'enfants ou celui d'adultes.

	Na-Me		Na-ENP		ENP-Me	
	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes	Enfants	Adultes
Hy-S	0.78	0.71	(NS)	0.50	0.77	0.66
Hy-Fr	0.64	0.67	(NS)	0.54	0.60	0.59
Hy-Mx	0.68	0.61	(NS)	0.39	0.69	0.59
Hy-Man	0.45	(NS)	(NS)	(NS)	0.45	(NS)
Hy-MeC3	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)
Hy- C3 vert	(NS)	0.46	(NS)	(NS)	(NS)	0.48

Tableau III. 95 : Coefficients de corrélation entre les variables de position verticale de l'os hyoïde et les mesures faciales verticales.

(NS) : r non significatif

3.4.4. Synthèse de l'incidence des types faciaux verticaux

En résumé, la typologie verticale a une influence sur les dimensions des VAS et sur la position verticale de l'os hyoïde. Des corrélations étroites sont observées entre la hauteur de la face et la hauteur des VAS, et avec la distance de l'os hyoïde par rapport à la base du crâne, ou alors aux maxillaires. En général, les sujets hyperdivergents (face longue) présentent des VAS (oropharynx) plus longues, de coupe inférieure plus large et une position plus basse de l'os hyoïde. Les situations contraires sont observées chez les sujets hypodivergents (face courte). La divergence verticale des grandes cornes de l'os hyoïde suit la divergence mandibulaire, avec un angle plus ouvert chez les hyperdivergents et un angle plus fermé chez les hypodivergents.

3.5. Influence des dimensions faciales transversales

3.5.1. Corrélations des mesures des VAS

Chez les enfants, quelques corrélations significatives ($r \geq 0.3$) sont observées entre les largeurs faciales au niveau des zygomas ou des angles mandibulaires avec des variables des VAS (volume, surfaces, largeurs des coupes), mais aucune corrélation n'atteint 0.6. Chez les adultes, les corrélations ne sont pas significatives (Tableau III.96).

	V naso	V oro	S sup	Larg Cs	S C i	Larg Ci
Larg Zy	0.34	(NS)	0.35	0.5	(NS)	0.37
Larg Go	0.34	0.37	0.3	0.31	(NS)	(NS)

Tableau III. 96 : Coefficients de corrélation entre les dimensions des VAS et les largeurs faciales chez les enfants.

(NS) : r non significatif.

3.5.2. Corrélations entre les dimensions de l'os hyoïde et les largeurs faciales

Chez les adultes, la largeur faciale au niveau des angles mandibulaires (largeur bi-goniaque) est corrélée ($r \geq 0.3$) avec la largeur totale, la largeur antérieure ainsi qu'avec des longueurs de l'os hyoïde (Tableau III.97), mais aucun coefficient n'atteint 0.6. Chez les enfants, aucun coefficient de corrélation n'est significatif.

R de Larg Go et dimensions Hyoïde	Larg totale	Larg ant	Long totale	Long lat	Long GC
Adultes	0.3	0.42	0.45	0.48	0.41
Enfants	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)	(NS)

Tableau III. 97: Coefficients de corrélation entre les dimensions de l'os hyoïde et la largeur faciale bi-goniaque.
(NS) : r non significatif.

3.6. Analyse globale de l'influence de la typologie faciale

Pour synthétiser les influences de la typologie faciale sur des groupes de variables des VAS ou de l'os hyoïde, nous avons utilisé les analyses en composantes principales (ACP). Ces analyses sont d'abord appliquées sur les groupes d'enfants et d'adultes séparément, puis sur l'échantillon total en faisant disparaître l'effet de taille entre enfants et adultes.

L'ACP consiste à synthétiser les informations contenues dans un tableau de données croisant les mesures de n observations sur p variables. Elle permet de détecter les principaux facteurs de variabilité du nuage de points, en définissant des axes qui sont des combinaisons linéaires des variables d'origine. Ces axes synthétisent l'influence des observations et des variables les plus marquantes du tableau de données (indépendamment des unités de mesures utilisées). Pour chaque graphique d'ACP, les points sont colorés en fonction de la typologie faciale du sujet. Une MANOVA non-paramétrique (NP MANOVA) est menée sur les coordonnées factorielles des individus afin de voir si les groupes diffèrent significativement. Les valeurs p de toutes les ACP sont rapportées dans le tableau III.98.

Quand l'ACP est réalisée pour les groupes enfants et adultes séparément, seule la position verticale de l'os hyoïde chez les adultes présente une NP MANOVA significative entre les types faciaux verticaux. Quand l'ACP est appliquée sur l'échantillon total, avec effacement de l'effet taille entre enfants et adultes, cette différence significative de position verticale de l'os hyoïde entre les types faciaux sagittaux est confirmée.

Pour les ACP des dimensions des VAS et des dimensions de l'os hyoïde qui ne présentent pas de différence significative du NP MANOVA entre les types faciaux, nous ne présentons que l'ACP de l'échantillon total pour résumer. Pour les variables de positions horizontale et verticale

de l'os hyoïde, nous présentons l'ACP de l'échantillon total ainsi que celle du groupe d'adultes qui a un p significatif pour le test NP MANOVA.

Valeurs p des test NP MANOVA		Types faciaux sagittaux	Types faciaux verticaux
Dimensions VAS	<i>Enfants (n=44)</i>	0.076	0.166
	<i>Adultes (n=42)</i>	0.059	0.827
	<i>ÉchantillonTotal (n=86)</i>	0.257	0.633
Dimensions os hyoïde	<i>Enfants (n=44)</i>	0.256	0.484
	<i>Adultes (n=42)</i>	0.218	0.72
	<i>ÉchantillonTotal (n=86)</i>	0.683	0.736
Position horizontale de l'os hyoïde	<i>Enfants (n=44)</i>	0.725	0.299
	<i>Adultes (n=42)</i>	0.148	0.127
	<i>Échantillon total (n=86)</i>	0.861	0.474
Position verticale de l'os hyoïde	<i>Enfants (n=44)</i>	0.374	0.885
	<i>Adultes (n=42)</i>	0.499	0.025
	<i>ÉchantillonTotal (n=86)</i>	0.038	0.182

Tableau III. 98 : Synthèse des valeurs de NP MANOVA des ACP

3.6.1. ACP des dimensions des VAS

Sur l'ACP de l'échantillon total (Figure III.78), nous pouvons observer que les classes III sont groupées à droite du graphique sous l'influence des variables de volume de l'oropharynx (V2), de surface et de longueur de la coupe inférieure (Slow = Sci, X12L = Long Ci), ou de surface et longueur des coupes moyennes et minimales (X12M = Long Cm, X12E = Long Cmin, S étroit = SCmin, S med = S Cm). La valeur p de NP MANOVA n'est pourtant pas significative. L'influence des types verticaux n'est pas significative sur les dimensions des VAS, en dépit d'une constatation de concentration des sujets hypodivergents en haut à droite et hyperdivergents en bas à droite du graphique.

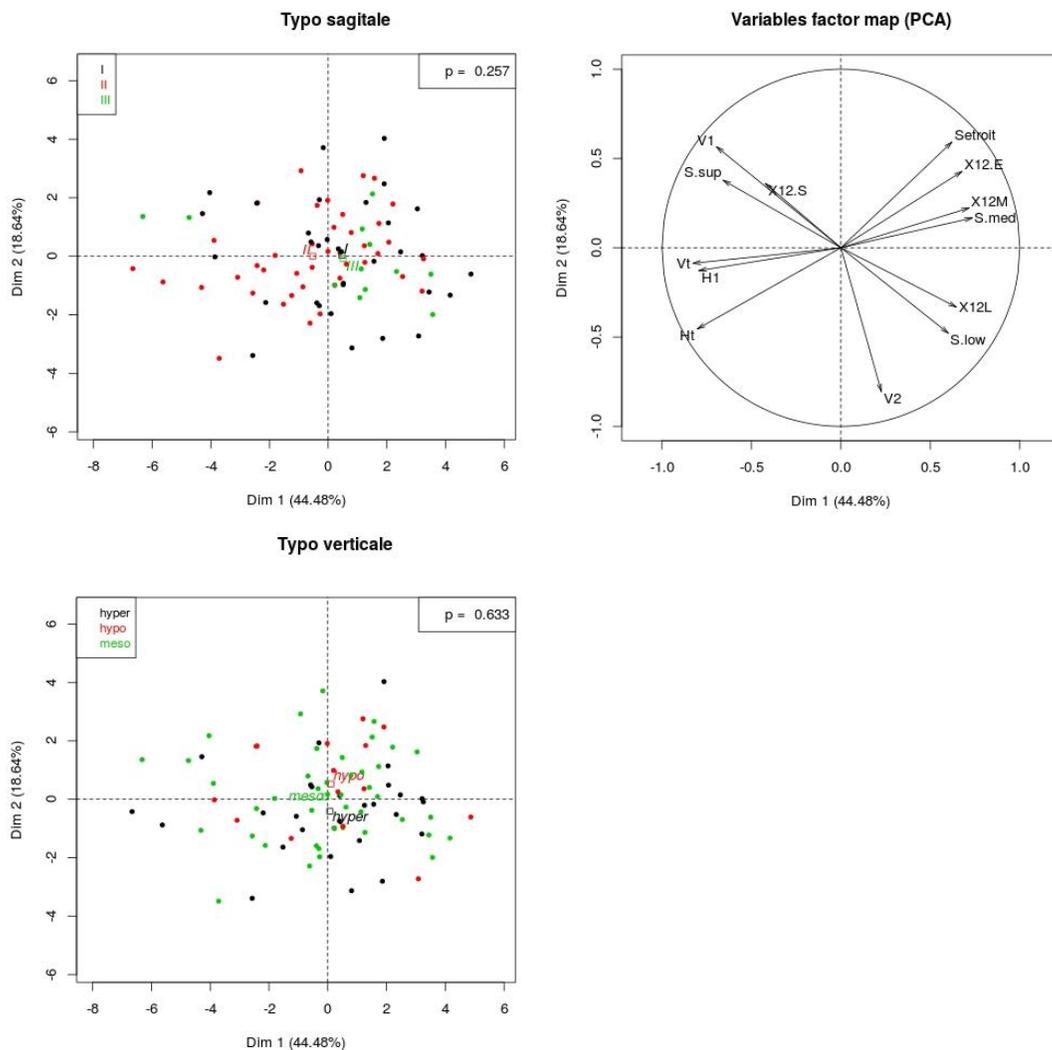


Figure III. 78 : ACP des dimensions des VAS dans l'échantillon total

3.6.2. ACP des dimensions de l'os hyoïde

La figure III.79 présente le graphique d'ACP des variables de dimensions de l'os hyoïde pour l'échantillon total. Nous n'observons pas de distinction de répartition des types faciaux, sagittaux ou verticaux, dans le graphique. Les p des NP MANOVA ne sont pas significatifs.

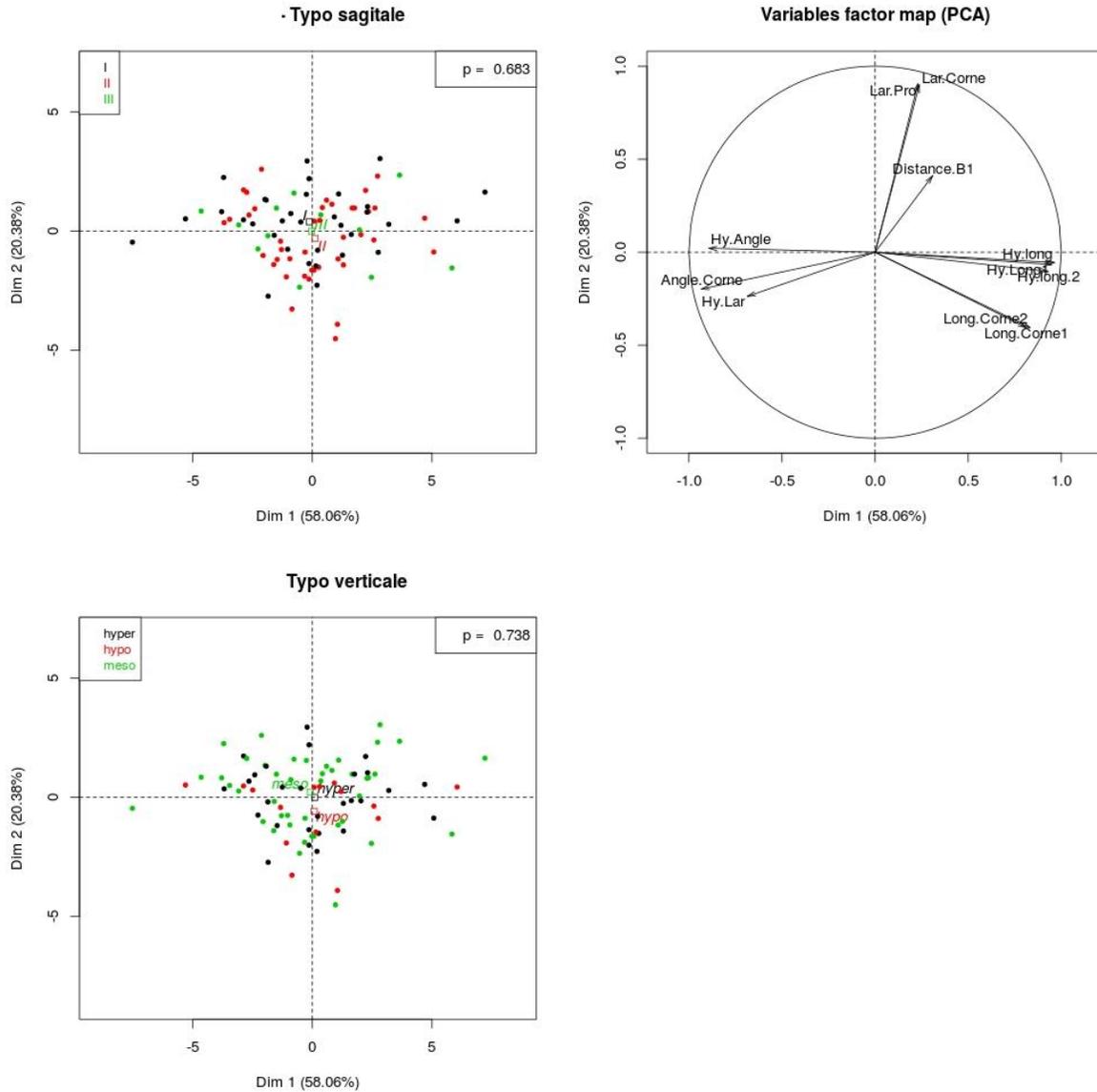


Figure III. 79 : ACP des dimensions de l'os hyoïde dans l'échantillon total

3.6.3. ACP de position horizontale de l'os hyoïde

3.6.3.1. ACP de position horizontale dans le groupe d'adultes

Dans le groupe d'adultes, la position horizontale de l'os hyoïde semble avoir subi plus d'influence par les types faciaux sagittaux, avec une distinction des classes II et III, sans atteindre le seuil de significativité ($p = 0.148$). Les typologies verticales montrent également une distinction entre les groupes hypo et hyperdivergents, mais le p reste non significatif (Figure III.80).

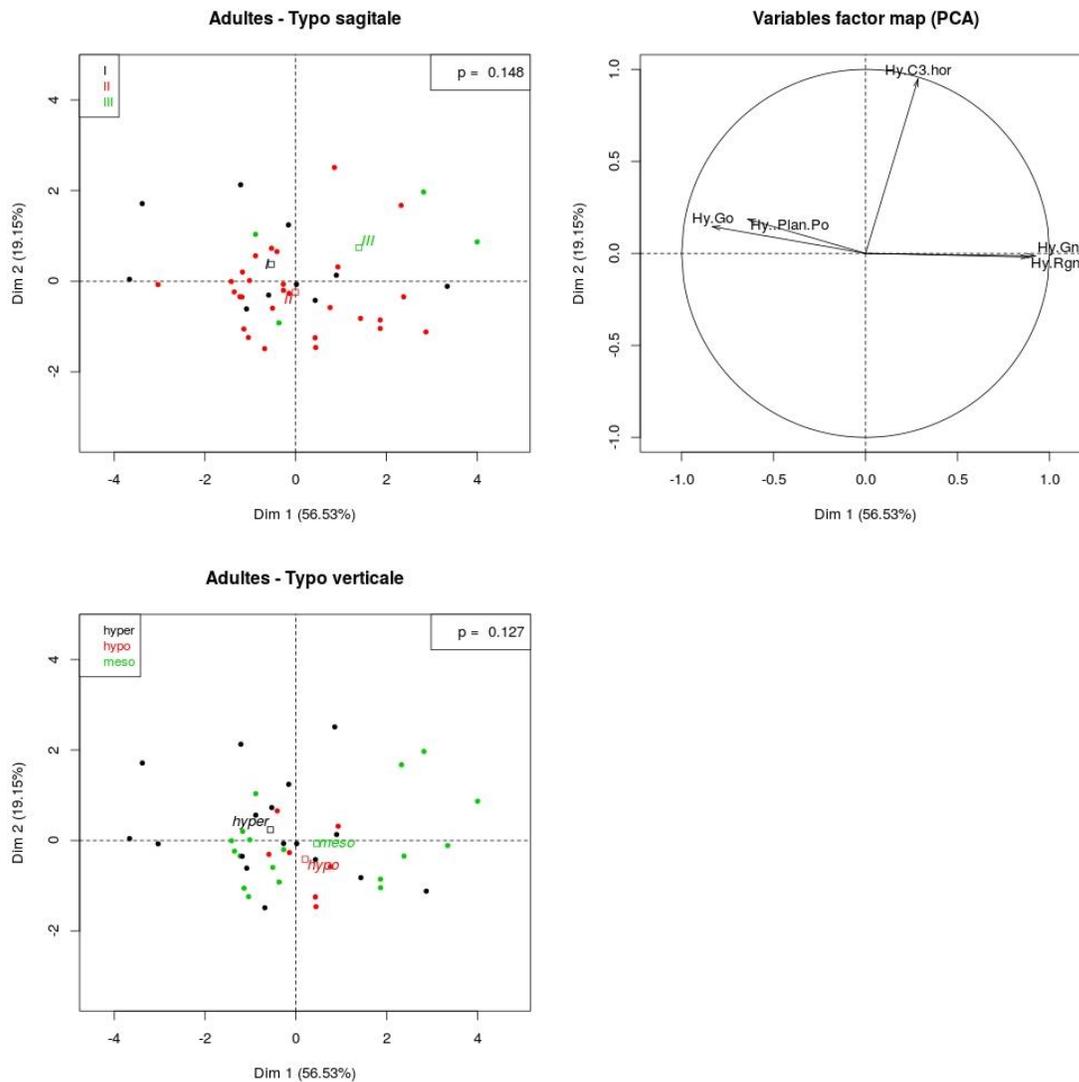


Figure III. 80 : ACP des mesures de la position horizontale de l'os hyoïde dans l'échantillon d'adulte

3.6.3.2. ACP de la position horizontale de l'os hyoïde dans l'échantillon total

La distinction de la position horizontale de l'os hyoïde entre des types faciaux chez les adultes (sans atteindre la significativité par le test NP MANOVA) précédemment décrite dans le groupe d'adultes (Figure III.80) n'est plus relevée quand l'ACP est réalisée pour l'échantillon total (Figure III.81). L'absence de différence chez les enfants masque l'écartement des types faciaux dans l'échantillon d'adultes.

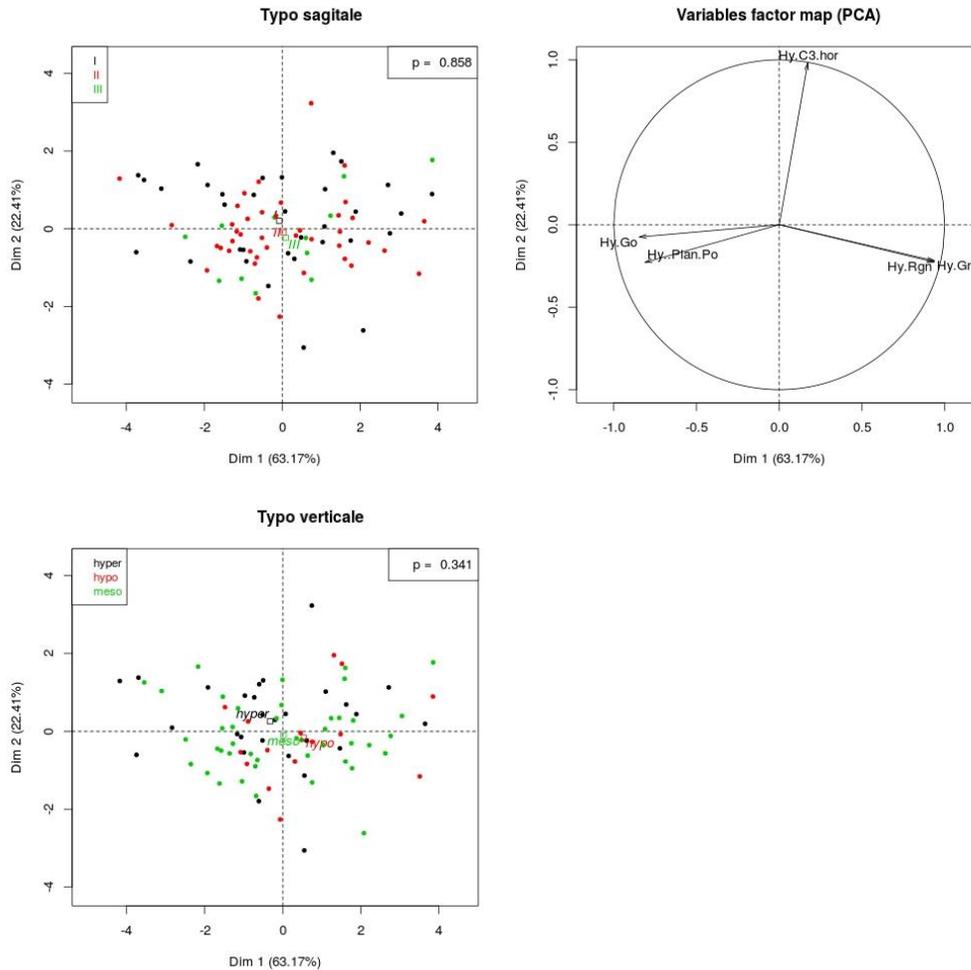


Figure III. 81 : ACP des mesures de la position horizontale de l'os hyoïde dans l'échantillon total

3.6.4. ACP de la position verticale de l'os hyoïde

3.6.4.1. ACP de la position verticale chez les adultes

La position verticale de l'os hyoïde est répartie assez distinctement entre les classes verticales : les hypodivergents sont rassemblés en bas et à gauche tandis que les hyperdivergents sont plutôt en haut du graphique, le p est significatif pour cette observation. La répartition semble également distincte pour les types sagittaux (Figure III.82), mais le p du NP MANOVA n'est pas significatif.

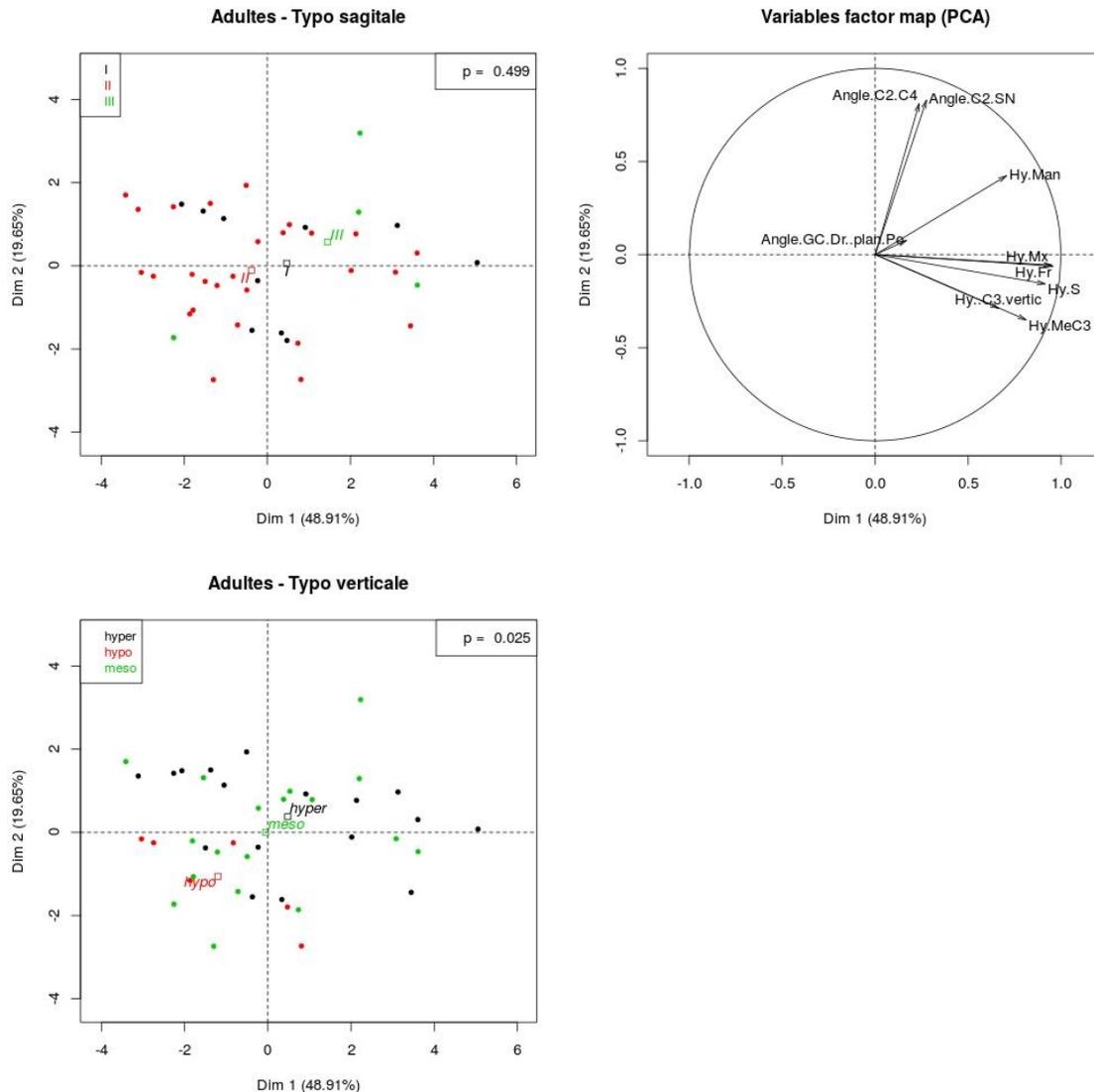


Figure III. 82 : ACP des mesures de la position verticale de l'os hyoïde dans l'échantillon adulte

3.6.4.2. ACP de la position verticale dans l'échantillon total

L'ACP pour l'échantillon total montre des différences significatives de position verticale de l'os hyoïde entre les typologies sagittales. Les classes II et III se différencient plus nettement. Les types hypo et hyperdivergents montrent également des différences de position verticale mais non significatives (Figure III.83).

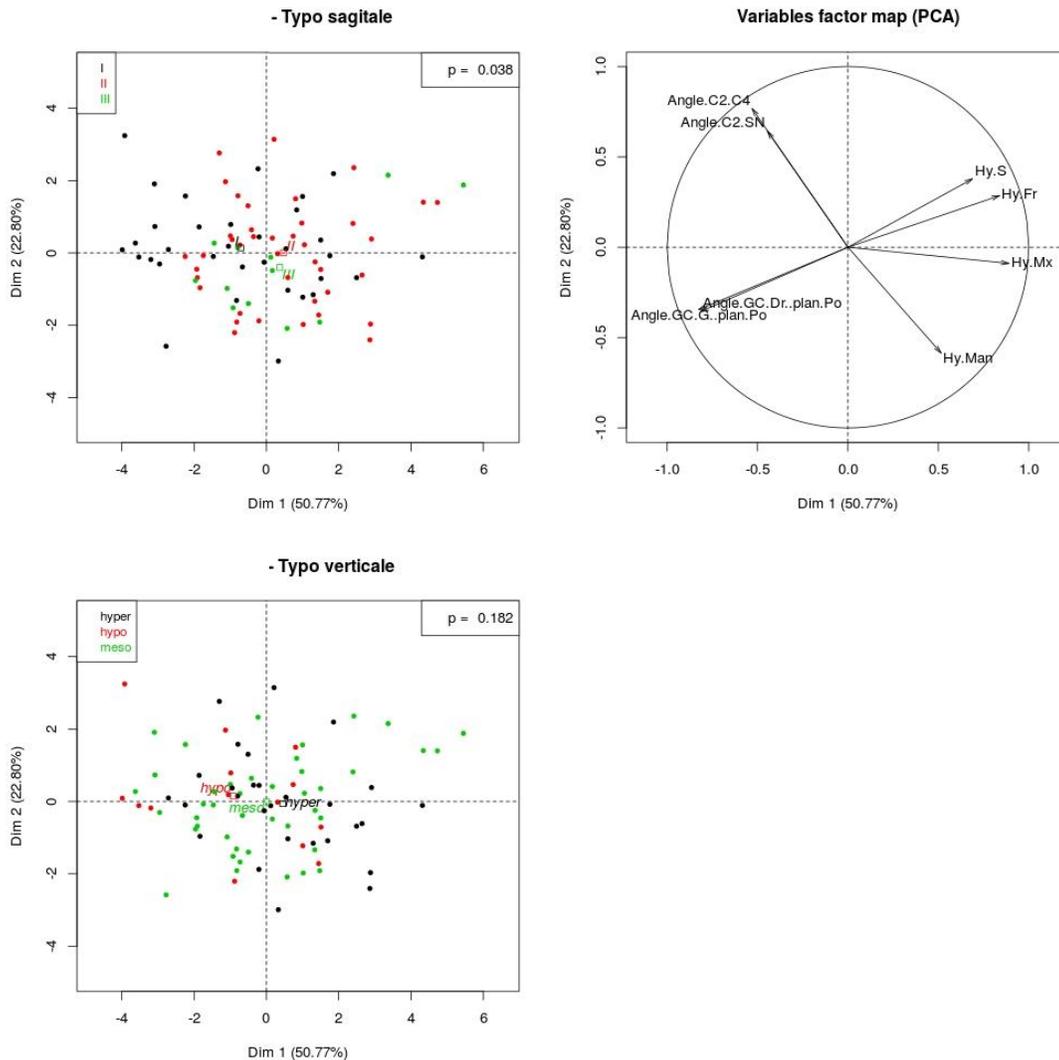


Figure III. 83 : ACP des mesures de la position verticale de l'os hyoïde dans l'échantillon total

En conclusion, l'analyse globale par les ACP montre qu'il existe effectivement des tendances de regroupement différent des sujets suivant les types faciaux pour toutes les variables étudiées, mais les différences ne sont statistiquement pas significatives. L'interaction entre les types faciaux sagittaux et verticaux (1 sujet d'une classe I peut être de type vertical méso, hypo ou hyperdivergent) qui ne sont pas écartés ici explique partiellement ce manque de significativité.

Chapitre IV :
DISCUSSION

Chapitre IV : DISCUSSION

1. Biodiversité de l'os hyoïde : apport de notre étude

L'étude de l'os hyoïde et de sa biodiversité constitue la partie la plus importante de notre travail. Nous avons démontré, à travers des analyses métriques, l'existence d'un dimorphisme sexuel de taille et de position de l'os hyoïde significatif chez les individus adultes. Ce dimorphisme, initialement absent chez les enfants, est le résultat d'une croissance pubertaire différentielle entre filles et garçons. La croissance plus importante en largeur qu'en longueur entraîne également une modification significative de forme de l'os hyoïde avec l'âge, passant d'une forme plus longue et étroite chez les enfants à une forme plus large et divergente chez les adultes. Des modifications au niveau du corps de l'os hyoïde sont observées, avec un remodelage beaucoup plus important chez les individus masculins dans les âges pubertaires. Les différences inter-populationnelles, tant de taille que de forme, sont observées, mais avec une manifestation différente selon le sexe.

Pour chacune de ces variations nous allons analyser les points forts et les points faibles de notre étude, puis nous discuterons les résultats obtenus à la lueur des données préexistantes avant d'en proposer des hypothèses explicatives.

1.1. Les dimensions de l'os hyoïde et leur variation selon l'âge, le sexe, la population

1.1.1. Aspects méthodologiques

La méthode que nous avons choisie pour appréhender les dimensions de l'os hyoïde présente des avantages majeurs, notamment grâce au protocole de mesures sur le matériel étudié constitué de CBCT d'os hyoïdes d'individus vivants.

Comparés au matériel utilisé dans de nombreuses études précédentes (os secs ou disséqués issus d'autopsies, radiographies), les CBCT délivrent des images sans distorsion à la différence des radiographies conventionnelles et permettent l'évaluation de l'os hyoïde en position anatomique.

Notre protocole de mesures a été conçu pour éliminer le maximum de facteurs d'erreurs. Une source importante d'erreur est l'état, fusionné ou non (corps, grandes cornes), de l'os hyoïde. Seuls Kindschuh *et al.* (2009, 2012) ont abordé ce point à partir d'os hyoïdes secs, en établissant deux protocoles distincts de mesures selon l'état de l'os. Les trois parties de l'os sont mesurées séparément, et les longueurs et largeurs totales sont supprimées pour les os hyoïdes non fusionnés, évitant ainsi les erreurs. Cet aspect n'a pas été discuté par d'autres auteurs dans leur protocole de mesures, faites soit sur os secs soit sur radiographies, rendant difficile toute étude comparative. Par exemple, l'étude de Kim *et al.* (2006), à partir de photographies

numériques d'os disséqués, ne mentionne aucunement l'état de fusion, et l'illustration du protocole ne présente que des mesures sur os fusionnés.

Notre protocole est applicable et demeure fiable, quel que soit l'état de fusion de l'os hyoïde (Cf. figure II.22). De plus, les points de repères des angles supéro-internes des extrémités des grandes cornes sont facilement repérables (cf. II.2.2.4.1), et leur placement est vérifié sur les coupes tomographiques.

Comparées à deux autres études fondées sur des reconstitutions 3D d'os hyoïdes (Ito *et al.* en 2012, Fakhry *et al.* en 2013), nos mesures sont plus complètes (Tableau IV.1). En effet les mesures de longueur totale de l'os hyoïde ainsi que les mesures angulaires manquent à l'étude d'Ito *et al.* L'étude de Fakhry *et al.*, quant à elle, n'évalue pas la longueur des grandes cornes. Notre étude, s'appuyant sur 9 mesures linéaires (largeurs et longueurs), permet de calculer 3 rapports et 2 mesures angulaires. Nous avons pu ainsi évaluer fidèlement différentes variables de l'os hyoïde, pour une analyse détaillée de ses dimensions.

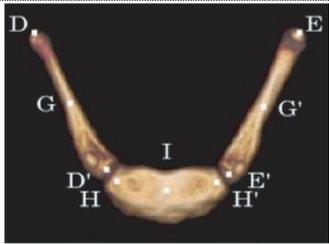
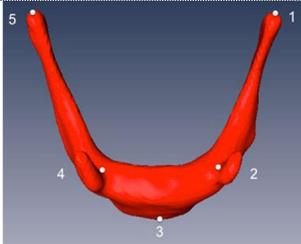
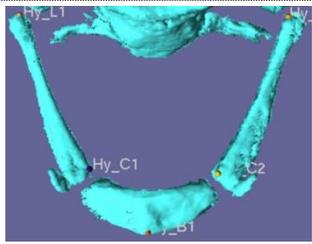
	Ito <i>et al.</i> 2012	Fakhry <i>et al.</i> 2013	Notre étude
Matériel	TDM de 700 individus adultes vivants	TDM de 92 individus adultes vivants et de 88 os d'autopsie	CBCT de 177 individus vivants
Nombre de mesures	10	4	14
Repères utilisés			

Tableau IV. 1 : Comparaison du protocole utilisé avec ceux d'études similaires

Nous n'avons pas développé de mesures spécifiques du corps de l'os hyoïde pour plusieurs raisons. Les mesures les plus courantes du corps sont sa largeur maximale et sa hauteur maximale, facilement réalisables sur os secs (cf. Arensburg *et al.* 1991, Kindschuh 2009, Steel *et al.* 2013), sur des radiographies, ou sur des photos bidimensionnelles (Papadopoulos *et al.* 1989, Reed 1993, Miller *et al.* 1998, Reesink *et al.* 1999). Sur des reconstructions 3D, ces distances maximales sont moins fiables car aucun critère anatomique n'a été trouvé pour identifier de manière reproductible des points de repère nécessaires aux mesures.

Cependant, dans notre approche, les dimensions du corps sont évaluées indirectement par des mesures incluant le point le plus antérieur du corps : la longueur totale, la longueur antérieure, les longueurs latérales. La longueur antérieure a un lien particulièrement étroit avec le corps de l'os hyoïde car elle décrit la position relationnelle du corps aux grandes cornes. Elle représente la participation du corps de l'os hyoïde à sa longueur totale.

Toutefois, dans le but d'une évaluation plus complète, nous avons cherché des points fiables à identifier pour de possibles mesures dimensionnelles du corps de l'os hyoïde. Ainsi, le point le plus antérieur, les milieux des bords supérieur et inférieur du corps de l'os peuvent être repérés de façon reproductible (Figure IV.1). La distance entre le milieu du bord supérieur et le point le plus antérieur du corps représente en quelque sorte "l'épaisseur" (Figure IV.1a) et la distance entre les milieux des bords supérieur et inférieur représente la hauteur du corps (Figure IV.1b). Ces mesures ont été effectuées pour l'échantillon français, pour lequel la répartition entre les deux sexes est plus équilibrée. Les résultats de ces mesures sont discutés plus loin dans ce chapitre (*cf.* 1.1.2.2). Ces mesures n'ont pas d'équivalent dans d'autres études permettant une comparaison. Seuls Ito *et al.* (2012) rapportant des mesures du corps sur des reconstructions 3D incluent les mesures de "l'axe maximal et minimal" et l'épaisseur du corps, mais ces auteurs n'ont pas précisé la méthode d'identification des points, rendant à notre avis ces mesures aléatoires (Figure IV.2).

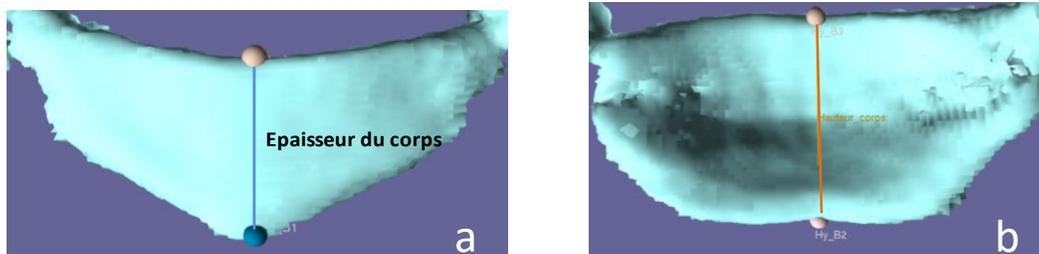


Figure IV. 1 : Mesures du corps de l'os hyoïde dans notre étude.
a : épaisseur du corps; b : hauteur du corps

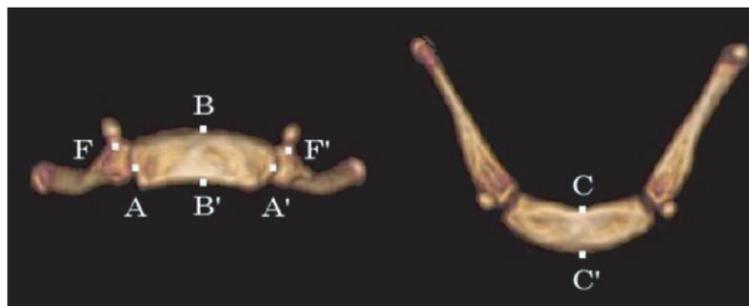


Figure IV. 2 : Mesures du corps de l'os hyoïde par Ito *et al.* (2012)
AA' : axe maximal, BB' : axe minimal.

1.1.2. Variations des dimensions de l'os hyoïde avec l'âge

1.1.2.1. Une documentation inédite chez les enfants

Notre échantillon est composé de 94 enfants âgés de 7 à 16 ans (52 filles et 42 garçons), c'est le plus grand échantillon d'os hyoïdes d'enfants analysé jusqu'à présent. En l'absence d'autre étude transversale, il s'agit donc d'une base de données référentielle pouvant avoir des implications anthropologiques.

Les rares données existant sur des os hyoïdes immatures sont souvent insérées dans un échantillon total comme le travail de Miller *et al.* (1998) qui inclut 7 enfants de moins de 15 ans dans l'analyse.

La longueur des grandes cornes demeure la seule dimension pour laquelle des données de comparaison existent. Il s'agit de l'étude de Reed (1993) qui s'appuie sur des radiographies de profil du cou d'un échantillon composé de 22 sujets âgés de 0 à 11 mois, de 20 sujets âgés de 1 à 5 ans, de 22 sujets âgés de 6 à 10 ans, de 22 enfants âgés de 11 à 15 ans. Sur l'image de l'os hyoïde prise de profil, Reed (1993) n'a pu mesurer que 2 variables sur le corps et une variable de longueur sur les grandes cornes (figure IV.3). Le test t de Student révèle que, à l'exception des données extraites de l'échantillon constitué par les filles de 6 à 10 ans, les autres différences de longueur constatées entre nos deux études sont significatives (tableau IV.2). Cette différence reste cependant à considérer avec prudence, car les deux méthodes de mesure sont différentes : celle de Reed (1993) est basée sur la projection des grandes cornes sur le plan sagittal sur la radiographie de profil, la longueur réelle des grandes cornes est modifiée par cette projection et par la distorsion radiographique tandis que nous effectuons nos mesures sur les reconstructions 3D dans un rapport 1 sur 1. Nos mesures sont alors plus proches de la longueur réelle des grandes cornes.

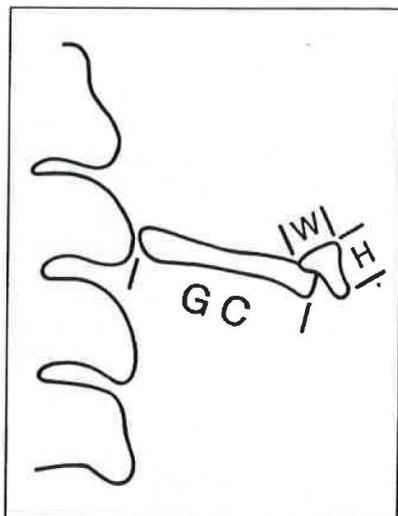


Figure IV. 3: Mesures effectuées sur l'os hyoïde dans l'étude de Reed (1993)

W : largeur du corps, H : hauteur du corps, GC: longueur des grandes cornes.

	Nombre d'individus		Longueur des grandes cornes		p (t test)
	Notre étude	Reed (1993)	Notre étude	Reed (1993)	
Filles de 6-10 ans	12	5	20.0 ± 1.1	18.3 ± 4.3	0.432
Filles de 11-15 ans	16	8	23.4 ± 2.5	27.5 ± 3.4	0.013
Garçons de 6-10 ans	11	17	19.8 ± 2.8	22.9 ± 3.2	0.013
Garçons de 11-15 ans	26	14	22.6 ± 4.2	30.4 ± 5.8	< 0.001

Tableau IV. 2 : Comparaison des résultats concernant la longueur des grandes cornes de notre étude et de celle de Reed (1993)

1.1.2.2. Les dimensions de l'os hyoïde chez les adultes et comparaison.

Quand nous comparons les résultats obtenus dans notre étude avec les dimensions rapportées dans la littérature, nous trouvons quelques différences. Les premières comparaisons sont effectuées avec les études dans lesquelles les mesures ont été réalisées sur des reconstructions 3D à partir d'images TDM (Ito *et al.* 2012, Fakhry *et al.* 2013). Les repères de mesures pour ces deux études diffèrent peu des nôtres. Le tableau IV.3 résume les comparaisons des dimensions avec les 2 études et indique que les dimensions de notre étude sont très proches de celles de Fakhry *et al.* (2013) ; en revanche les dimensions rapportées par Ito *et al.* (2013) sont significativement supérieures, étant en fait plus grandes que celles rapportées dans toutes les autres études (tableau IV.4), qu'elles soient mesurées sur image 3D (Fakhry *et al.* 2013), sur les photos digitales (Kim *et al.* 2006) ou encore sur os secs (Miller *et al.* 1998, D'Souza *et al.* 2013).

L'étude anatomique de Parsons (1909) effectuée sur 50 os hyoïdes d'hommes et sur 28 os hyoïdes de femmes a également fourni des dimensions très différentes des nôtres. D'après cet auteur, la dimension transversale moyenne de l'os hyoïde chez les hommes est de 26 mm contre 22 mm pour les femmes, avec une dispersion de 21 à 30 mm chez les premiers et de 17 à 26 mm chez les secondes. Ces dimensions sont bien inférieures aux nôtres (respectivement de 42,6 mm et 38 mm en moyenne) et à celles des autres études en imagerie 3D, mais il est difficile d'interpréter cette différence car Parsons (1909) n'a pas précisé sa méthode de mesure.

Sexe		n	Larg totale (mm)	Larg ant (mm)	Long totale (mm)	Long GC d (mm)	Long GC g (mm)
F	Notre étude	59	38.0 ± 5.2	18.2 ± 1.9	31.8 ± 2.7	25.5 ± 2.3	25.3 ± 2.1
	Ito <i>et al.</i> 2012	290	42.2 ± 5.3*	24.0 ± 1.9*	Non mesuré	30.0 ± 2.5*	29.6 ± 2.5*
	Fakhry <i>et al.</i> 2013	74	38.6 ± 5.7	18.95 ± 2.3	32.5 ± 3.2	Non mesuré	Non mesuré
M	Notre étude	24	42.6 ± 6.1	20.8 ± 2.2	35.0 ± 3.8	27.4 ± 3.5	27.3 ± 3.8
	Ito <i>et al.</i> 2012	310	48.5 ± 7.0	28.2 ± 2.3*	Non mesuré	34.1 ± 2.8*	33.5 ± 2.8*
	Fakhry <i>et al.</i> 2013	106	42.3 ± 7.6	22.3 ± 2.8	39.08 ± 3.96	Non mesuré	Non mesuré

Tableau IV. 3 : Comparaison des dimensions rapportées dans notre étude avec celles des études de Ito *et al.* (2012), Fakhry *et al.* (2013).

F : Féminin, M : Masculin* : dimensions présentant la différence significative avec celles de notre étude ($p < 0.001$)

Sexe	Étude	n	Larg Totale (mm)	Larg ant (mm)	Long totale (mm)	Long GC (mm)
Femmes	<i>Ito et al. 2012</i>	290	42.2 ± 5.3	24.0 ± 1.9	Non mesuré	30.0 ± 2.5
	<i>Kim et al. 2006</i>	33	31.6 ± 16.2	19.3 ± 2.2	33.9 ± 6.6	28.0 ± 9.3
	<i>Fakhry et al. 2013</i>	74	38.6 ± 5.7	19.0 ± 2.3	32.5 ± 3.2	Non mesuré
	<i>Miller et al. 1998</i>	125	40.1 ± 8.1	25.3 ± 4.2	Non mesuré	27.7 ± 5.3
	<i>D'Souza et al. 2013</i>	34	38.4	Non mesuré	35.5	Non mesuré
Hommes	<i>Ito 2012 et al.</i>	310	48.5 ± 7.0	28.2 ± 2.3	Non mesuré	34.1 ± 2.8
	<i>Kim et al. 2006</i>	52	42.8 ± 12.3	22.3 ± 2.3	39.7 ± 3.2	33.5 ± 7.3
	<i>Fakhry et al. 2013</i>	106	42.3 ± 7.6	22.3 ± 2.8	39.08 ± 3.9	Non mesuré
	<i>Miller et al. 1998</i>	182	39.8 ± 9.3	27.3 ± 5.1	Non mesuré	28.6 ± 5.1
	<i>D'Souza et al. 2013</i>	68	43.7	Non mesuré	39.3	Non mesuré

Tableau IV. 4 : Comparaison des dimensions de l'os hyoïde selon Ito et al avec les autres études

1.1.2.3. Modifications des dimensions de l'os hyoïde s de l'enfant à l'adulte

Nos résultats montrent des différences de taille très significatives entre les os hyoïdes immatures et adultes (figure IV.4). Notre étude transversale met en évidence, grâce à une approche statistique utilisant des ANCOVA, une différence significative entre filles et garçons à l'âge pubertaire au niveau des augmentations de toutes les dimensions de l'os hyoïde. La longueur totale de l'os hyoïde augmente principalement durant la période de 7 à 16 ans, avec une amplitude significativement plus importante chez les garçons. La différence d'évolution de la largeur totale apparaît dans la période post-pubertaire (après 16 ans) où l'augmentation de largeur totale se poursuit chez les garçons tandis que cette dimension reste stable chez les filles. L'évolution de la longueur antérieure, paramètre intéressant le corps de l'os hyoïde, démontre un remodelage plus important et plus précoce du corps de l'os hyoïde chez les garçons.

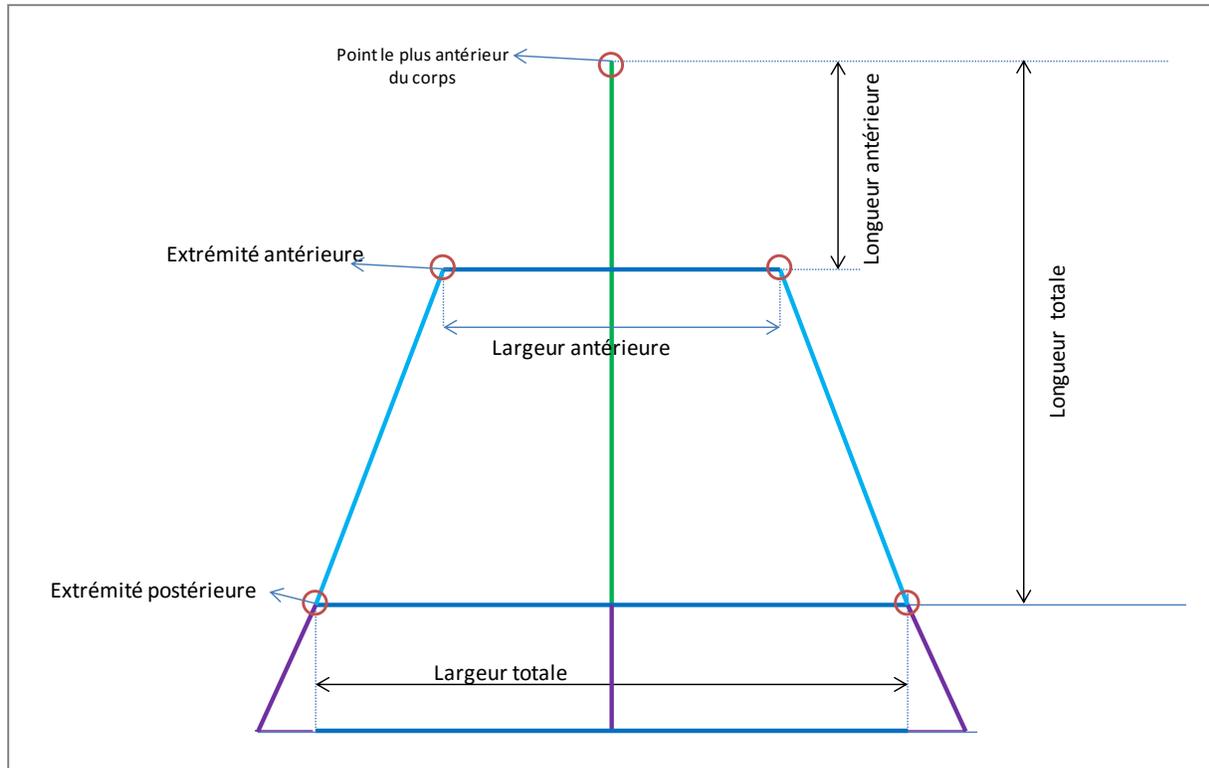


Figure IV. 4 : Schéma présentant les modifications de taille de l'os hyoïde du stade immature au stade adulte en bleu : taille initiale, en violet: augmentation de taille

La composition de notre échantillon adulte incite à la prudence dans l'analyse des résultats pour trois raisons : le nombre restreint de sujets masculins surtout dans les classes d'âges élevés, les effectifs insuffisants de ces classes d'âges et enfin les répartitions différentes dans les deux populations étudiées. L'analyse des os hyoïdes adultes ne met en évidence aucune modification statistiquement significative de la taille avec l'âge.

La modification principale est liée au processus de fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde, réduisant l'espace articulaire (Shimizu *et al.* 2005). Mesurer cet espace sur l'image 3D de l'os hyoïde nous a semblé aléatoire, du fait de l'absence de repère ou de plan de référence fixe. La présence et la nature complète ou partielle de cette fusion ont été pour leur part analysées et discutées (*cf.* III.2.2.5 et IV.1.2.4).

Nos observations concordent avec les conclusions de plusieurs études précédentes. Ito *et al.* (2012) n'ont pas observé de changement de volume de l'os hyoïde avec l'âge sur 600 os hyoïdes d'adultes âgés de 20 à 97 ans. De même, Papadopoulos *et al.* (1989) et Miller *et al.* (1998) n'ont pas mis en évidence de modification significative de la taille de l'os hyoïde. D'autres auteurs (O'Halloran *et al.* 1987, Shimizu *et al.* 2005), obtiennent le même résultat avec la prise en compte de différentes tranches d'âge de 20 à 80 ans.

1.1.3. La taille de l'os hyoïde et le dimorphisme sexuel

Les résultats présentés dans le chapitre II.2.1.2.1 montrent l'absence de dimorphisme sexuel de taille de l'os hyoïde chez les individus immatures, à l'exception de la longueur antérieure qui est significativement plus importante chez les garçons, ce qui peut indiquer que le corps de l'os hyoïde est plus épais, ou plus convexe en avant, ou qu'il est situé plus antérieurement par rapport aux grandes cornes.

Cette croissance différentielle entre filles et garçons entraîne un dimorphisme sexuel très significatif chez les sujets adultes (*cf.* III 2.1.2.1). Toutes les dimensions de longueur et de largeur sont significativement plus grandes chez les hommes que chez les femmes.

Cette différence pouvant laisser espérer une utilisation de ces données pour une diagnose sexuelle, nous avons donc testé cette hypothèse avec des fonctions discriminantes appliquées aux échantillons français et vietnamien sur les mesures de largeurs antérieure et totale, sur les longueurs antérieure et totale, sur les longueurs latérales et les longueurs des grandes cornes ainsi que sur l'angle entre les grandes cornes.

Dans l'échantillon français, le sexe a été correctement déterminé par la fonction discriminante pour 29 femmes, soit un résultat de 85,3 % de diagnose correcte, tandis que pour les hommes, le taux de diagnose correcte n'est que de 75 %. Pour l'échantillon vietnamien, le taux obtenu pour les femmes (88%) dépasse également celui pour les hommes (tableau IV.5).

	Adultes français		Adultes vietnamiens	
	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes
Sexe accordé vrai	29	12	22	6
Sexe accordé faux	5	4	3	2
Pourcentage de classement correct	85,3 %	75,0 %	88,0 %	75,0 %

Tableau IV. 5 : Diagnose du sexe par les fonctions discriminantes.

Ces résultats rejoignent ceux des auteurs ayant effectué le même type d'analyse pour la diagnose du sexe (*e.g.* Parsons 1909, Pollanen et Ubelaker 1997, Miller *et al.* 1998, Reesink *et al.* 1999, Lekšan *et al.* 2005) à partir de l'os hyoïde. L'étude de Miller *et al.* (1998) fournit un classement correct pour 75.2 % des femmes et 69.2 % des hommes. Nos résultats se rapprochent plus de ceux rapportés par Kim *et al.* en 2006 (88%), par Kindschuh en 2009 (85%), et par Fakhry *et al.* en 2013 (89.5 % et 86.5 %).

Les taux de classement correct obtenus pour les dimensions générales de l'os hyoïde, quelle que soit l'étude, ne sont, certes, pas suffisamment élevés pour autoriser l'emploi de l'os dans le cadre d'une diagnose sexuelle primaire en anthropologie biologique, contrairement à ce que permet l'os coxal (Bruzek 2002, Murail *et al.* 2005). Les données de l'os hyoïde pourraient

néanmoins constituer un élément complémentaire pour renforcer une hypothèse lorsque les éléments décisifs manquent, ou pour une diagnose sexuelle secondaire.

Le dimorphisme sexuel au niveau de la taille du corps de l'os hyoïde a été étudié respectivement par Cerný (1990), Reesink *et al.* (1999), en utilisant 3 mesures: la hauteur maximale, l'épaisseur antéro-postérieure et la largeur transversale maximale. Les fonctions discriminantes permettent alors d'atteindre 76 % de classements corrects.

Comme nous l'avons dit, nos mesures du corps de l'os hyoïde ne peuvent pas être comparées avec celles des autres études car les repères utilisés ne sont pas identiques, même si les conclusions des comparaisons entre les sexes sont en revanche similaires. La largeur et la hauteur du corps de l'os hyoïde sont significativement plus grandes chez les hommes que chez les femmes (tableau IV.6).

	Adultes Français		
	Féminins (n = 34)	Masculins (n = 16)	p Wilcoxon
Hauteur du corps (mm)	9.8 ± 1.1	10.8 ± 1.2	0.012
Épaisseur du corps (mm)	6.2 ± 1.2	7.1 ± 1.3	0.025

Tableau IV. 6 : Mesures du corps de l'os hyoïde et comparaisons entre sexes.

1.1.4. Taille de l'os hyoïde et populations

Des différences portant sur la taille de l'os hyoïde sont mises en évidence chez l'adulte, entre les populations française et vietnamienne. Les femmes françaises ont, d'une manière générale, un os hyoïde significativement plus large et significativement plus court que les femmes vietnamiennes. Les différences entre les hommes issus des deux populations ne sont, pour leur part, pas significatives, mais le nombre limité des individus masculins dans l'échantillon vietnamien (8 sujets seulement) pourrait expliquer cette absence de significativité.

Les différences entre populations peuvent avoir diverses causes :

- L'influence de la taille de l'individu : Fakhry *et al.* (2013) ainsi que Ubanová *et al.* (2013) constatent que la taille de l'os hyoïde est positivement corrélée avec la taille et la corpulence de l'individu, en particulier pour ce qui est de la dimension antéro-postérieure. En général, les Français ont une stature plus élevée que celle des Vietnamiens : 1m75 pour les hommes et 1m63 pour femmes français (de Saint Pol 2007) contre 1m64 pour les hommes et 1m53 pour les femmes vietnamiens (Thuy VT *et al.* 2003). L'hypothèse d'un lien avec la stature n'explique toutefois pas complètement les différences observées entre les deux populations ; seules les femmes françaises présentent des largeurs de l'os hyoïde significativement plus grandes que les femmes vietnamiennes, et chez ces dernières les longueurs de l'os hyoïde sont plus grandes, contrairement à ce qui est attendu suivant cette corrélation.

- L'influence des dimensions faciales : L'os hyoïde faisant partie des structures crânio-faciales, il est donc logique de penser que les différences de dimensions faciales entre populations (Zhuang *et al.* 2010) pourraient se répercuter sur les dimensions de l'os hyoïde. Dans nos résultats, les coefficients de corrélation calculés entre les dimensions faciales sagittales ou frontales et celles de l'os hyoïde (*cf* III.3.3.2., 3.5.2.) ne démontrent pourtant pas de lien très fort : dans le sens antéro-postérieur, les longueurs de l'os hyoïde (longueur totale, longueur des grandes cornes) sont corrélées significativement avec la profondeur faciale mesurée par la distance menton-vertèbres cervicales, mais la corrélation reste faible (*cf* tableau III.88). Dans le sens frontal, des coefficients de corrélation significatifs mais faibles sont observés entre les largeurs de l'os hyoïde et la largeur faciale au niveau des angles mandibulaires (*cf* tableau III.97) chez les adultes.
- L'influence des fonctions physiologiques. L'os hyoïde est le point d'insertion des muscles impliqués dans des fonctions ventilatoires et phonatoires. Sénécal (1979), à partir de séries de radiographies de profil, a identifié différents mouvements de l'os hyoïde lors de la prononciation des voyelles ouvertes ou fermées, de même que durant celle des consonnes. Les écarts de prononciation des sons entre les langues impliquent-elles des sollicitations différentes de l'os hyoïde, avec un impact sur le remodelage osseux, ou à l'inverse, les conditions anatomiques induisent-elles des prononciations différentes? C'est une piste de recherche qui nécessite des études complémentaires et multidisciplinaires.

L'étude de l'influence de la population peut être complétée par une méta-analyse incluant des résultats portant sur des populations géographiquement proches:

- Dans le cas de l'échantillon français, nous avons comparé nos résultats avec ceux rapportés dans l'étude de Fakhry *et al.* (2013) par le test t de Student. Les largeurs de l'os hyoïde observées notre étude sont très proches de celles de Fakhry *et al.* (2013), tandis que les longueurs sont en revanche significativement plus grandes dans cette étude que dans la nôtre (Tableau IV.7)

	Femmes			Hommes		
	<i>Notre étude</i> (n = 34)	<i>Fakhry et al.</i> (2013) (n = 74)	<i>p</i>	<i>Notre étude</i> (n = 16)	<i>Fakhry et al.</i> (2013) (n = 106)	<i>p</i>
Larg totale	39.5 ± 5.2	38.6 ± 5.7	0.425	42.0 ± 5.6	42.3 ± 7.6	0.851
Larg ant	18.5 ± 2.1	18.95 ± 2.25	0.001	20.4 ± 2.4	22.27 ± 2.76	0.001
Long totale	30.8 ± 2.7	32.5 ± 3.15	0.006	35.2 ± 4.5	39.8 ± 3.96	0.001

Tableau IV. 7 : Dimensions de l'os hyoïde de sujets caucasiens et différences en fonction du sexe trouvées dans notre étude et celle de Fakhry *et al.* (2013)

- Pour les os hyoïdes asiatiques, deux études récentes (Kim *et al.* 2006, Ito *et al.* 2012) permettent une comparaison. Comme les dimensions sur la population japonaise décrites par Ito *et al.* (2012) sont bien plus grandes que celles prises en compte dans toutes les études (cf. IV.1.1.1), seuls les résultats de Kim *et al.* (2006) sont inclus dans notre méta-analyse.

Les largeurs et longueurs des os hyoïdes féminins ne présentent pas de différences, la longueur totale est significativement plus grande chez les hommes coréens étudiés par ces auteurs (tableau IV.8). Nous remarquons également que les écart-types dans l'étude de Kim et collaborateurs sont bien plus grands que ceux de notre étude.

	Femmes			Hommes		
	Notre étude (n = 25)	Kim et al 2006 (n = 33)	Ito et al 2012 (n = 290)	Notre étude (n = 8)	Kim et al 2006 (n = 52)	Ito et al 2012 (n = 310)
Larg totale	36.3 ± 4.8	31.6 ± 16.2	42.2 ± 5.3	43.7 ± 7.2	42.8 ± 12.3	48.5 ± 7.0
Larg ant	17.6 ± 1.6	19.3 ± 2.2	24.0 ± 1.9	21.6 ± 1.9	22.3 ± 2.3	28.2 ± 2.3
Long GC	25.6 ± 2.1	28.0 ± 9.3	30.0 ± 2.5	28.3 ± 1.7	33.5 ± 7.3	34.1 ± 2.8
Long totale	32.7 ± 2.4	33.9 ± 6.6	Non mesurée	34.7 ± 2.0	39.7 ± 3.2*	Non mesurée

Tableau IV. 8 : comparaison des dimensions des os hyoïde asiatiques

* : Différence significative

+ Lors d'une comparaison entre les populations européennes (notre étude et celle de Fakhry *et al.* 2013) et asiatiques (notre étude et celle de Kim *et al.* 2006), les femmes européennes présentent des os hyoïdes plus larges mais plus courts que les femmes asiatiques. Entre les hommes issus des deux populations, la différence est significative pour les longueurs des os hyoïdes (Tableau IV.9)

	Femmes		Hommes	
	Européens (n =74) (Fakhry et al. 2013)	Asiatiques (n=33) (Kim et al.2006)	Européens (n =106) (Fakhry et al. 2013)	Asiatiques (n= 52) (Kim et al.2013)
Larg totale (mm)	38.6 ± 5.7	31.6 ± 16.2*	42.3 ± 7.6	42.8 ± 12.3
Larg ant (mm)	18.95 ± 2.25	19.3 ± 2.2	20.4 ± 2.4	22.3 ± 2.3*
Long totale (mm)	32.5 ± 3.15	33.9 ± 6.6 *	39.8 ± 3.96	39.7 ± 3.2*

Tableau IV. 9 : Comparaison des dimensions des os hyoïdes entre populations :

* Dimensions significativement différentes avec les valeurs françaises. F : Féminin, H : Masculin

+ L'étude de Kindschuh (2010) porte sur une comparaison d'os hyoïdes caucasiens et africains. Des fonctions discriminantes utilisées pour différencier l'origine de l'os donnent un taux de classement correct atteignant 88,9 %. Les dimensions issues de l'échantillon caucasien qui sont mesurées sur des os secs fusionnés sont proches de nos résultats.

+ Kim *et al.* (2006) de leur côté remarquent que les valeurs qu'ils obtiennent pour leur échantillon asiatique sont plus grandes que celles rapportées pour une population caucasienne par Miller *et al.* (1998).

La comparaison des différents travaux rend compte de l'existence de différences entre des populations selon leurs origines, mais elle illustre également la complexité du fait biologique pour des grandes aires géographiques. Ce point nécessite une recherche plus approfondie sur des échantillons plus larges, aux origines géographiques multiples, et éventuellement une méta-analyse entre des études effectuées selon un même protocole de mesures.

1.2. Variations de forme de l'os hyoïde et classification

1.2.1 Remarques sur l'approche analytique choisie

La méthode d'appréhension de la morphologie de l'os hyoïde utilisée dans notre étude est fondée sur l'analyse métrique. Elle a été établie après une analyse critique des méthodes utilisées précédemment (*e.g.* Papadopoulos *et al.* 1989; Pollanen et Ubelaker, 1997; Miller *et al.* 1998; Lekšan *et al.* 2005, Kim *et al.* 2006, Fakhry *et al.* 2013), excluant ainsi la description visuelle qui est subjective et dépendante de l'examineur.

La méthode métrique a été abordée partiellement par Papadopoulos *et al.* (1989) qui définissent la forme de l'os visuellement mais utilisent aussi des rapports obtenus après mesures pour des commentaires sur la forme. Ito *et al.* (2012) ont ajouté à ces observations le rapport de la largeur mesurée au milieu des grandes cornes à la largeur mesurée aux extrémités postérieures des grandes cornes pour définir si l'os a une forme de fer à cheval. Récemment, deux études ont utilisé une méthode morphométrique (Ubanová *et al.* 2013, Fakhry *et al.* 2013) pour comparer la forme de l'os hyoïde entre des échantillons d'origine différente, mais elles n'ont pas proposé de classification.

La méthode exclusivement métrique est une méthode fiable qui répond au besoin de critères objectifs pour évaluer la forme de l'os hyoïde. Grâce aux 5 variables évaluées dans notre étude (*cf.* III.2.2), la forme globale de l'os hyoïde est appréciée de façon claire et complète. Ces variables permettent ensuite d'élaborer une classification dont les critères sont présentés ci-dessous.

Cependant cette première classification devra être complétée par une étude morphométrique afin de préciser certaines caractéristiques morphologiques, d'autant plus que l'os hyoïde est reconnu très polymorphe (Miller *et al.* 1998).

1.2.2. Proposition d'une nouvelle classification

1.2.2.1. Revue critique des classifications précédentes

Dans la littérature (*cf.* Chapitre I.3.1.2.), la forme en U (parabolique) ou en V (hyperbolique) de l'os hyoïde est identifiée en se fondant sur l'observation directe (Pollanen et Ubelaker 1997) ou sur le rapport de la largeur à la longueur de l'os hyoïde (D'Souza *et al.* 2013). La forme est dite en V si ce rapport est supérieur à 1 et en U s'il est inférieur à 1. Or, en réalité, nous trouvons que ce rapport n'exprime pas précisément la vraie forme de l'os. Dans notre échantillon, pour un rapport largeur/longueur supérieur à 1, il y a des os hyoïdes en U et des os hyoïdes en V (Figure IV.5). De plus, il est communément dit que ce rapport est supérieur à 1 chez la plupart des sujets (Papadopoulos *et al.* 1989). Ceci est confirmé par notre échantillon (n = 177 sujets), dans lequel un rapport inférieur à 1 ne concerne que 12 % des cas; ce mode de classification devient alors inutile quand près de 90 % des cas sont regroupés dans la même classe.

D'autres auteurs (Koebke et Saternus 1979, Papadopoulos *et al.* 1988) utilisent l'asymétrie pour en faire une catégorie indépendante. Or, cette asymétrie peut être observée pour toutes les formes de l'os hyoïde et en faire une classe à part ne permet pas de décrire la forme de base de l'os. L'asymétrie ne concerne de plus qu'un faible pourcentage de la population (environ 6% dans notre échantillon, 11 % selon Koebke et Saternus 1979).

Lekšan *et al.* (2005) proposent également une classe indépendante pour l'asymétrie. Leur critère de classification s'appuie sur l'angle entre les deux grandes cornes. Une forme en U est symétrique si cet angle est inférieur à 25° et les longueurs des deux grandes cornes sont égales. Il s'agit d'un V symétrique si cet angle est supérieur à 25° et les longueurs des deux grandes cornes sont égales. L'os hyoïde est asymétrique si les longueurs des deux grandes cornes sont inégales de plus de 10 %.

Nous trouvons deux inconvénients majeurs à cette classification. D'abord il s'agit d'une mesure plutôt difficile à effectuer sur une reconstruction 3D ou sur os sec, et peu reproductible, notamment dans le cas d'un os non fusionné pour lequel la position des grandes cornes peut considérablement varier. Deuxièmement, nous avons observé dans notre échantillon (n = 177 sujets) une valeur moyenne de 49,5° pour l'angle entre les deux grandes cornes et seuls trois individus présentent une valeur inférieure à 25°. En dépit de la différence de méthode de mesure entre notre étude et celle de Lekšan *et al.* (2005), nous pensons que l'angle choisi ne permet pas de classer correctement l'os hyoïde dans une catégorie de forme.

Papadopoulos *et al.* (1998) ont proposé une classification selon cinq formes : en U, en V, en fer à cheval (H), en forme d'une coupe de bateau (B) et asymétrique (D), mais par simple observation et sans critère précis (*cf.* I.3.1.2.1). Leur classification est difficile à appliquer et elle

n'a pas été reprise par la suite. En revanche, ces mêmes auteurs ont analysé le rapport largeur antérieure/ longueur et observent des formes étroites, moyennes ou larges de l'os hyoïde.

1.2.2.2. Considération sur les variables et les seuils choisis

Dans notre échantillon, nous constatons que, sans tenir compte de l'asymétrie des grandes cornes, l'os hyoïde a une forme en U ou en V plus ou moins large. Nous avons d'abord analysé parmi les 5 variables choisies celles qui décrivent le mieux la forme de l'os hyoïde.

Une recherche de corrélations entre les 5 variables a été menée. Ainsi, la valeur de l'angle « hyoïde » est étroitement et positivement corrélée au rapport de la largeur à la longueur de l'os hyoïde ($r = 0,94$) (tableau IV.10). Nous pouvons alors choisir une seule de ces deux variables, le rapport, classiquement utilisé par plusieurs auteurs, a été retenu.

Pour la variable de l'angle entre les grandes cornes, utilisée par Lekšan *et al.* (2005), nous avons précédemment exprimé des critiques (*cf.* IV.1.2.1.2).

Le rapport longueur antérieure sur longueur totale présente des corrélations faibles avec les autres variables de forme de l'os hyoïde (tableau IV.10). Ce rapport ne présente aucune loi de répartition, nous observons toutes les valeurs dans les sous-groupes déterminés en fonction des angles de l'os hyoïde ou des angles entre des grandes cornes.

	Angle hyoïde	Angle GC	Larg totale / Long totale	Larg ant / Larg totale	Long ant / Long totale
Angle hyoïde	1	0.77	0.94	-0.56	0.08
Angle GC		1	0,81	-0.66	0.16
Larg totale / Long totale			1	-0.58	0.13
Larg ant/ Larg totale				1	0.23
Long ant / Long totale					1

Tableau IV. 10 : Coefficients de corrélation des variables morphologiques de l'os hyoïde entre elles

Cette analyse nous conduit à ne pas retenir ces trois variables (angle hyoïde, angle des grandes cornes et rapport longueur antérieure sur longueur totale) et à sélectionner donc le rapport de la largeur totale à la longueur totale de l'os hyoïde, ainsi que celui de la largeur antérieure à la largeur totale pour établir des critères de classification.

A la différence des études privilégiant le rapport largeur/longueur de l'os hyoïde, nous considérons que celui de la largeur antérieure à la largeur totale décrit mieux la forme en U ou en V de l'os : quand la largeur entre les deux extrémités antérieures des grandes cornes est supérieure à la moitié de la largeur au niveau de ses extrémités postérieures, les deux grandes cornes sont peu divergentes et ceci correspond à une forme en U. Dans le cas contraire, lorsque le rapport est inférieur à 0,5 les deux extrémités postérieures des grandes cornes s'éloignent et forment un V.

En complément, le rapport de la largeur sur la longueur de l'os hyoïde permet de qualifier l'os de large, moyen ou étroit. Si la largeur est inférieure à la longueur, l'os est étroit et long. Si la largeur est plus grande que la longueur (mais inférieure à 1.5), l'os a un caractère moyen ; si la largeur est supérieure à 1.5, l'os est large. Ce caractère étroit, moyen ou large en fonction de la valeur du rapport a déjà été décrit par Papadopoulos *et al.* (1989) qui distinguent alors des os étroits pour lesquels le rapport est inférieur à 1.2, des os moyens pour une valeur comprise entre 1.2 et 1.5 et des os larges lorsque le rapport est supérieur à 1.5.

La figure IV.5 illustre l'exemple de deux cas, le premier ayant un rapport égal à 0,95 et le second un rapport égal à 1,2. Nous avons pour le même rapport largeur/longueur une forme en U si le rapport de largeur antérieure sur largeur totale est grand (ici > 0.5) et une forme en V si ce rapport est petit (ici < 0.5). Les deux illustrations démontrent également que pour une même forme U ou V, l'os sera large si le rapport largeur/longueur est supérieur à 1 et étroit s'il est inférieur à 1.

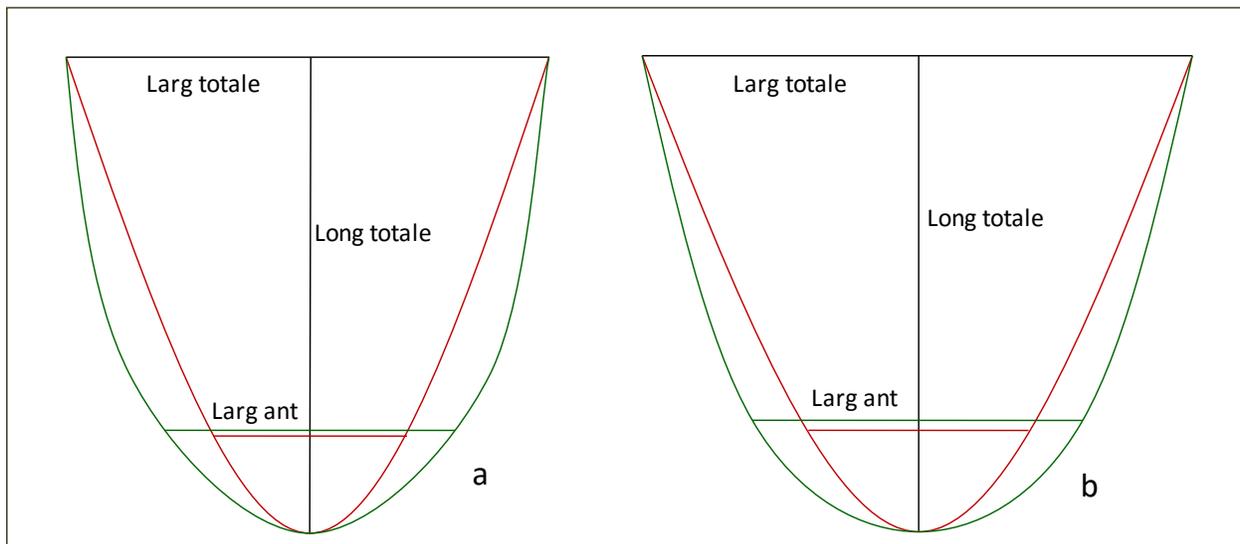


Figure IV. 5 : Schéma des formes de l'os hyoïde en fonction des rapports.

IV.3 a : Rapport larg totale / long totale < 1

Courbe en rouge : Rapport Larg ant/ Larg totale < 0.5

Courbe en vert : Rapport Larg ant/ Larg totale > 0.5

IV.3 b : Rapport larg totale / long totale > 1 .

Courbe en rouge : Rapport Larg ant/ Larg totale < 0.5

Courbe en vert : Rapport Larg ant/ Larg totale > 0.5

1.2.2.3. Une nouvelle classification

Nous proposons ainsi ci-dessous une classification qui s'appuie sur ces deux rapports, conduisant alors à 6 formes : U étroit, U moyen, U large, V étroit, V moyen et V large (figure IV.6, tableau IV.11). Le caractère asymétrique est ensuite ajouté à la forme initiale s'il est présent.

	Caractère étroit	Caractère Moyen	Caractère Large
La forme U Rapport Largeur antérieure/Largeur totale < 0.5	Rapport Largeur totale/Longueur totale < 1.2	Rapport Largeur totale/Longueur totale = 1.2 - 1.49	Rapport Largeur totale/Longueur totale ≥ 1.5
La forme V Rapport Largeur antérieure/Largeur totale ≥ 0.5			

Tableau IV. 11 : Classification des formes de l'os hyoïde proposée

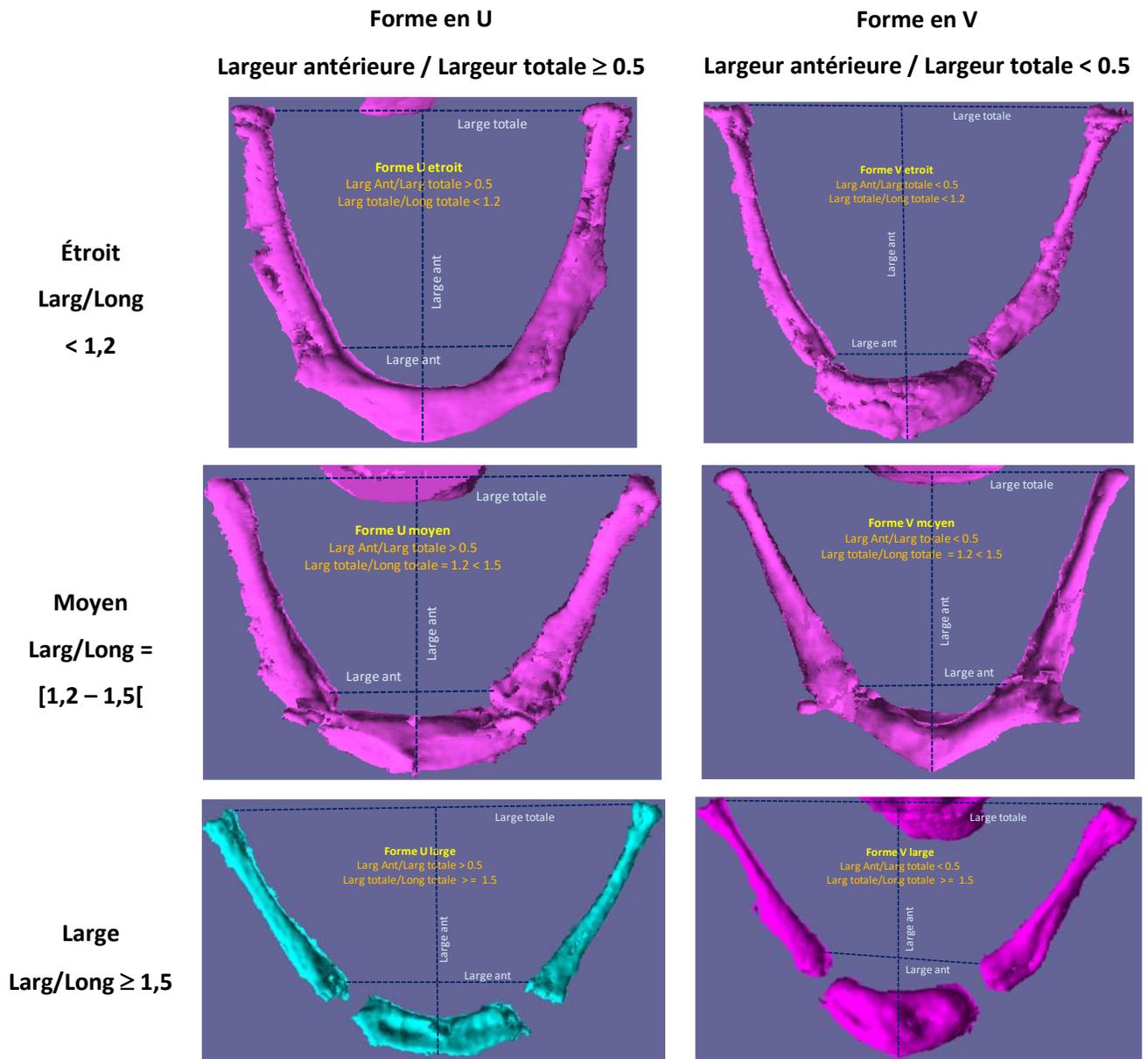


Figure IV. 6: Illustration des six formes de l'os hyoïde selon notre classification

1.2.3. Application de la classification dans l'analyse des variations morphologiques de l'os hyoïde

1.2.3.1. Absence de dimorphisme sexuel

Dans le chapitre présentant les résultats, 5 variables morphologiques ont été comparées en fonction du sexe dans les échantillons d'immaturs et d'adultes (cf. III.2.2.2.2). Une fois les critères de la présente classification appliqués dans ces différents sous-groupes, la répartition des formes en fonction de l'âge et du sexe est présentée dans les figures IV.7 et IV.8.

1.2.3.1.1. Chez les sujets immatures

La comparaison de la répartition des différentes formes conduit au même constat quant à l'absence de dimorphisme sexuel de forme chez les enfants (cf. III.2.2.2.2), avec une fréquence des 6 formes qui n'est pas significativement différente entre filles et garçons d'après le test de Fischer ($p = 0.43$) (Figure IV.7). Les filles ont tendance à présenter des morphologies plus larges (absence de forme U large et fréquence de U étroit plus grande chez les garçons) mais cette différence n'est pas significative (p Fischer exact = 0.13). La forme en U est prédominante chez les immatures, qu'ils soient de sexe féminin ou masculin.

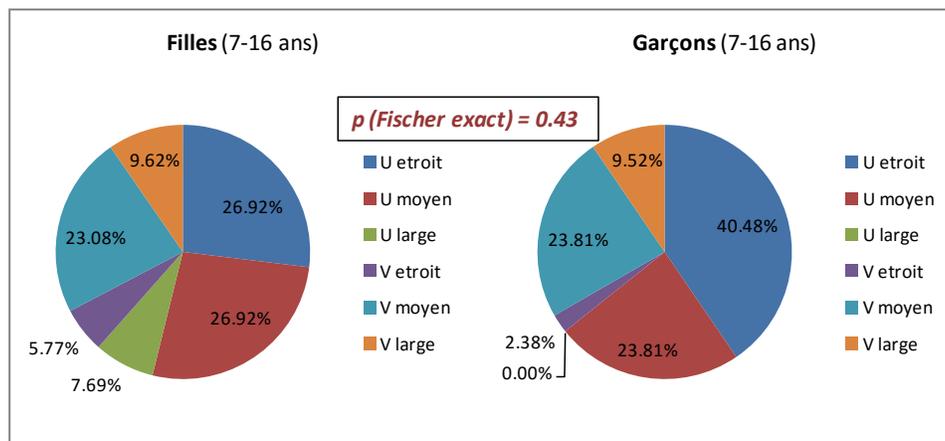


Figure IV. 7 : Comparaison de la répartition des six formes de l'os hyoïde entre filles et garçons.

1.2.3.1.2. Chez les adultes

Chez les adultes, la répartition des six formes de l'os hyoïde n'est pas significativement différente selon le test de Fischer exact effectué ($p = 0.93$). Pour les hommes comme pour les femmes, les formes en V sont en majorité, avec une répartition similaire de V étroits ou V moyens et un faible pourcentage de V larges dans les deux sous-groupes. Parmi les formes en U, le U étroit est le plus fréquent (chez les hommes comme chez les femmes) tandis que les morphologies en U moyen ou en U large sont très peu représentées (Figure IV.8).

La mise en évidence de l'absence de dimorphisme sexuel morphologique pour l'os hyoïde chez les adultes s'accorde avec les résultats de Papadopoulos *et al.* (1989), Pollanen et Ubelaker (1997), Miller *et al.* (1998), ainsi que ceux de D'Souza *et al.* (2013). Ces auteurs, suivant leurs propres classifications, constatent des fréquences différentes des morphologies entre hommes et femmes, mais ne sont pas parvenus à les mettre en évidence de manière statistiquement significative.

Lekšan *et al.* (2005), comme D'Souza *et al.* (2013), déclarent que la forme en V est plus fréquente chez les hommes et la forme en U plus fréquente chez les femmes, mais de manière non significative. Avec la même méthode morphométrique, Fakhry *et al.* (2013) ainsi que Ubanová *et al.* (2013) ne retrouvent pas les mêmes différences entre hommes et femmes sur la forme des grandes cornes. Si Fakhry *et al.* constatent chez les individus masculins la présence de grandes cornes plus longues et plus étroites, ainsi qu'un corps plus long, l'équipe d'Ubanová décrit des grandes cornes plus plates et plus courbées médialement chez les hommes. La morphométrie géométrique est parfaitement adaptée à l'appréhension de la forme, mais elle est cependant très sensible à la non-reproductibilité des points choisis. Ces deux études se différencient quant aux points de repère sur l'os, ce qui rend leurs conclusions difficilement comparables. Sur ce point, les mesures métriques restent des références non négligeables, et un nombre plus important de travaux fondés sur la méthode morphométrique apportera plus de clarté.

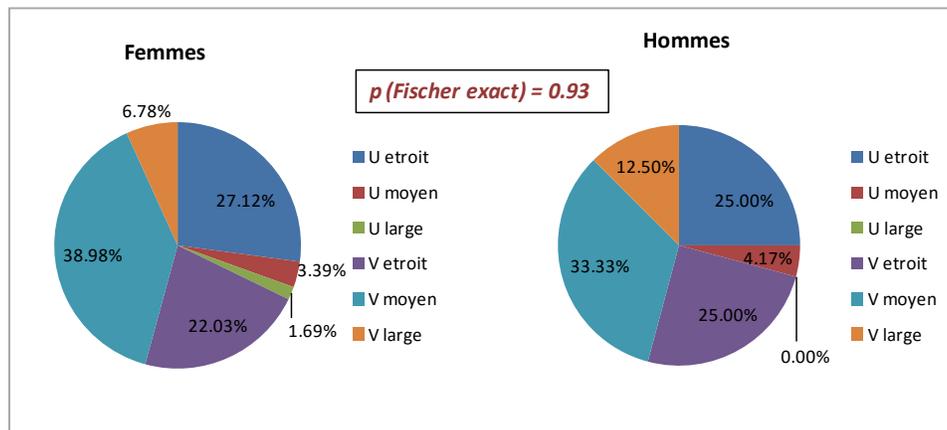


Figure IV. 8 : Comparaison de la répartition des formes de l'os hyoïde entre femmes et hommes.

1.2.3.2. Évolution de la forme de l'os hyoïde avec l'âge

Nos résultats pour les enfants démontrent qu'en plus de la taille, ceux-ci présentent avec les adultes des différences significatives de fréquence des diverses formes (pour les deux sexes, $p < 0.01$).

Dans les graphiques de répartition des six morphologies observées chez les immatures et les adultes de sexes masculin et féminin, nous constatons que les trois formes les plus fréquentes

chez les immatures sont les U étroits et moyens ainsi que les V moyens. Chez les adultes, ce sont en revanche les V étroits, V moyens et U étroits qui prédominent (figures IV.9 et IV.10). Les formes en U large sont rares, en particulier chez les sujets masculins.

La forme en U intéresse les deux tiers de l'échantillon immature, tandis que les deux tiers des adultes présentent une forme en V. Cette évolution de forme entre le stade immature et le stade adulte est due à une augmentation importante de la largeur totale de l'os hyoïde, sans modification simultanée significative de la largeur antérieure, comme cela a été décrit dans les résultats précédents. Les modifications dimensionnelles de l'os hyoïde qui sont plus importantes chez les garçons que chez les filles tant pour la largeur antérieure que la largeur totale, maintiennent donc l'absence de dimorphisme sexuel de forme de l'os hyoïde chez les adultes.

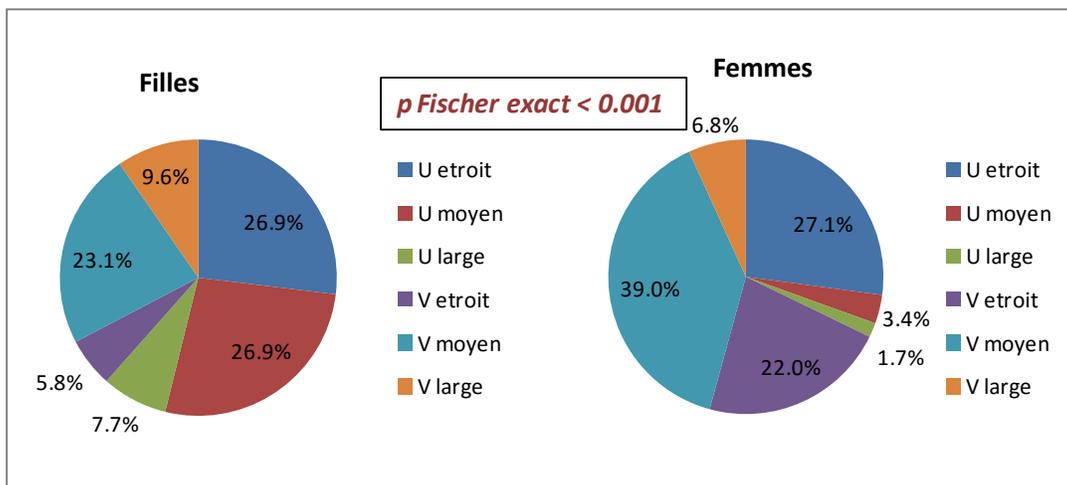


Figure IV. 9 : Comparaison de la répartition des formes de l'os hyoïde entre les filles et les femmes

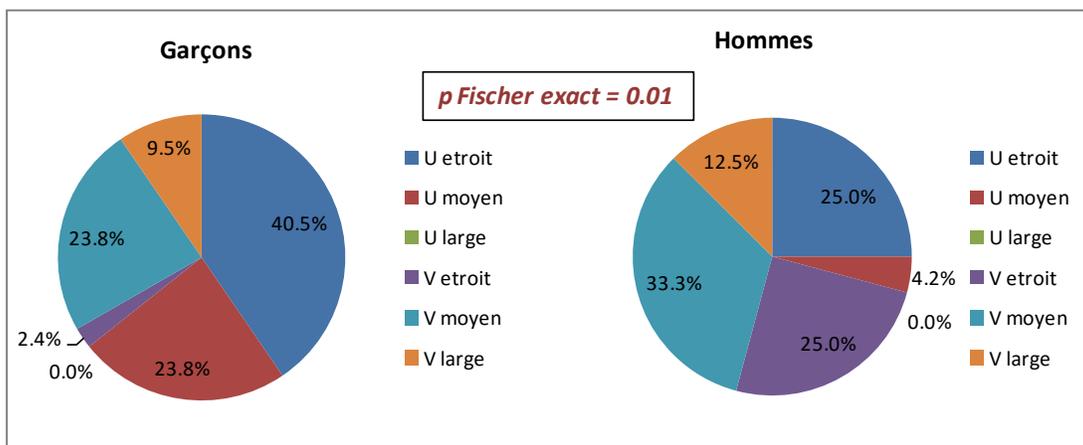


Figure IV. 10 : Comparaison de la répartition des formes de l'os hyoïde entre les garçons et les hommes

1.2.3.3. Morphologie de l'os hyoïde et population

L'analyse des résultats, détaillés dans le chapitre III. 2.2.2.3, décrit des os hyoïdes présentant un rapport largeur / longueur plus grand chez les adultes français que chez les adultes vietnamiens et un rapport largeur antérieure / largeur totale significativement plus petit chez les enfants vietnamiens. Ces différences sont mieux interprétées grâce à l'application de la classification proposée dans cette étude. La répartition des 6 types morphologiques de l'os hyoïde dans chaque population est présentée dans les figures IV.11 et IV.12.

1.2.3.3.1. Au sein du sous-groupe immature

La forme en U est significativement plus fréquente chez les sujets français, et la forme en V est significativement plus fréquente chez les sujets vietnamiens (p Fischer = 0.02). Chez les enfants français de moins de 16 ans, les deux formes les plus fréquentes sont le U étroit et le V étroit, chacune des morphologies occupant 33 % de l'échantillon. La forme en V moyen, est en revanche dominante chez les jeunes vietnamiens (présente dans 44,1 % de l'échantillon). Elle est suivie par la forme en U étroit, présente dans 29.4 % de l'échantillon. Les os hyoïdes de morphologie en U et V larges sont plus fréquents dans l'échantillon d'immatures français (fréquence de 25 %) que dans l'échantillon vietnamien (fréquence de 5.8%). Les comparaisons entre populations selon les sous-groupes de filles ou de garçons montrent que ces différences morphologiques sont présentes dans chaque sexe (tableau IV.12)

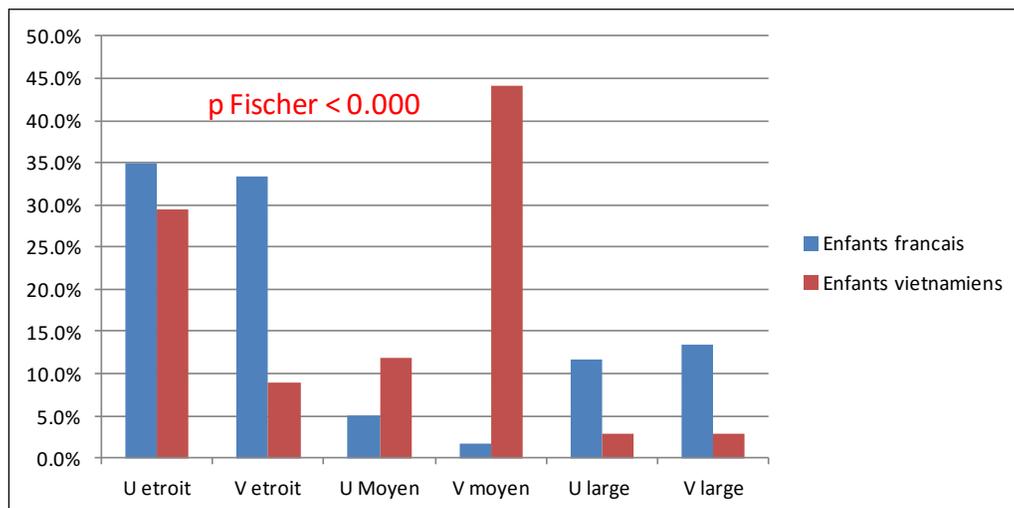


Figure IV. 11 : Comparaison des répartitions des formes de l'os hyoïde entre les enfants français et vietnamiens

	Comparaisons entre individus féminins		Test de Fischer	Comparaisons entre individus masculins		Test de Fischer
	Français	Vietnamiens		Français	Vietnamiens	
U étroit	7	7	p = 0.004	14	3	p = 0.029
V étroit	1	2		1	1	
U moyen	13	1		7	1	
V moyen	4	8		3	7	
U large	3	1		0	0	
V large	5	0		3	1	
Totale	33	19		27	5	

Tableau IV. 12 : Comparaison de la répartition des différentes formes d'os hyoïde selon la population et le sexe

1.2.3.3.2. Au sein de l'échantillon adulte

Les différences morphologiques précédentes ne sont pas retrouvées: la fréquence de la morphologie en V moyen augmente chez les adultes français, et elle n'est pas alors différente de celle des adultes vietnamiens. Chez les adultes vietnamiens ou français, les morphologies en V étroit et moyen sont présentes dans les deux tiers de l'échantillon. Elles sont suivies de la morphologie en U étroit, tandis que les formes en U moyen ou large sont très minoritaires.

Les différences entre populations au niveau des modifications dimensionnelles au cours de la croissance expliquent ce résultat. Les données présentées dans le chapitre III.2.1.2.3 montrent une augmentation significativement plus importante de la largeur totale chez les sujets français (spécialement chez les femmes). Cette augmentation a changé les rapports respectifs entre les largeurs et longueurs, les largeurs antérieures et les largeurs totales, modifiant ainsi la morphologie des os hyoïdes chez les adultes français.

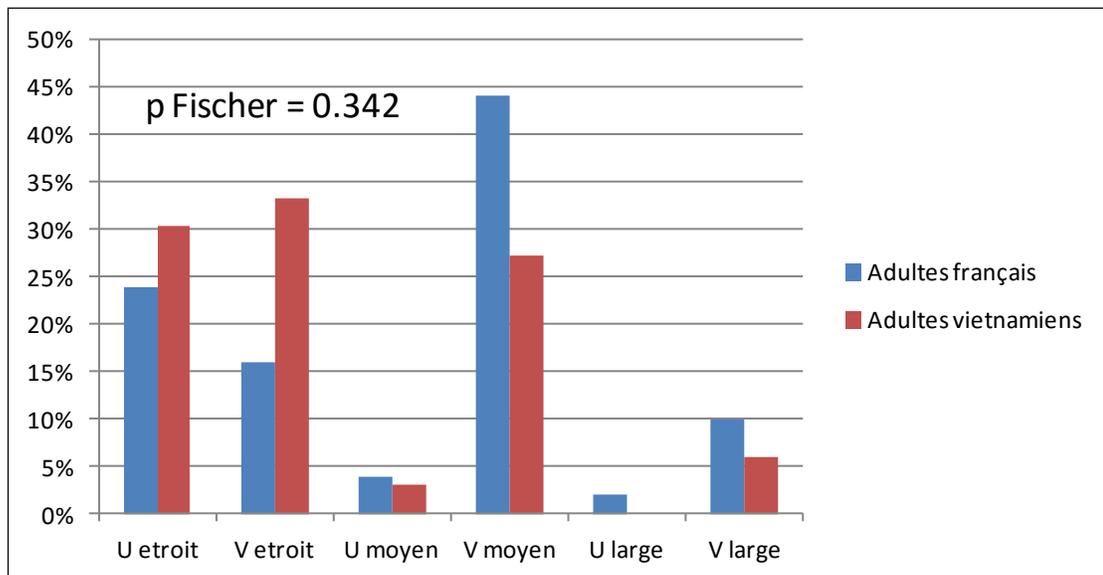


Figure IV. 12 : Comparaison des répartitions des formes de l'os hyoïde entre les adultes français et vietnamiens

1.2.3.4. Asymétrie de l'os hyoïde et sa fréquence

Deux aspects de l'asymétrie ont été analysés : l'asymétrie de la longueur des grandes cornes et celle des longueurs latérales. Le taux d'asymétrie rapporté dans notre étude est faible (5.6 % pour les longueurs des grandes cornes, et 3.4 % pour les longueurs latérales), sans différence de fréquence entre sexes, ni entre enfants et adultes. L'asymétrie peut affecter toutes les formes initiales de l'os (tableau IV.13). Ces observations montrent que classer l'asymétrie en une catégorie indépendante, comme l'ont proposé Kuebke et Saturnus (1979) ou Papadopoulos *et al.* (1988), fait perdre les informations propres à la forme initiale.

	Asymétrie des longueurs des grandes cornes	Asymétrie des longueurs latérales
Forme en U étroit	3	3
Forme en U moyen	2	0
Forme en U large	0	0
Forme en V étroit	0	1
Forme en V moyen	3	2
Forme en V large	2	0
Total	0	6

Tableau IV. 13 : Nombre d'asymétrie des grandes cornes dans les différentes formes de l'os hyoïde

Le taux d'asymétrie observé est inférieur à celui présenté dans les deux études mentionnées, à savoir 11 % dans l'échantillon de Kuebke et Saturnus (1979), 26.3 % chez les individus masculins et 21.1 % chez les individus féminins dans l'échantillon de Papadopoulos *et al.* (1989). Cependant les méthodes d'évaluation de l'asymétrie sont différentes : Papadopoulos *et al.* ont défini l'asymétrie par l'observation sur les calques millimétrés: l'os est symétrique seulement si la distance entre les deux grandes cornes par rapport à la ligne médiane de l'os est égale sur toute la longueur de celles-ci.

Notre méthode se fonde sur des calculs métriques : le caractère asymétrique est accordé si la différence entre les côtés droit et gauche dépasse 10 % de la valeur la plus petite des deux. Lekšan *et al.* (2005) utilisent la même méthode, rapportant un taux de 14.2%. La géométrie morphométrique représente sans doute la meilleure appréhension de l'asymétrie de l'os hyoïde. Cette méthode est par ailleurs utilisée par Ubanová *et al.* (2014) dans une étude exclusivement centrée sur l'asymétrie de l'os hyoïde qui décrit des manifestations de l'asymétrie au niveau de la taille globale, des longueurs inégales entre les grandes cornes, de la courbure des deux grandes cornes ou encore de la déviation du tubercule médian du corps de l'os hyoïde.

L'origine de l'asymétrie de l'os hyoïde peut être partiellement comprise en observant des reconstructions 3D dans notre échantillon. Nous constatons qu'en plus des asymétries de longueur des grandes cornes ou de leur divergence, il existe des asymétries au niveau de l'inclinaison de celles-ci sur le plan sagittal ou axial ainsi que des différences de courbure des

grandes cornes. Plusieurs cas sont caractérisés par une torsion des deux grandes cornes, inclinées différemment dans les trois plans de l'espace (Figures IV.13). Pour les cas présentant des asymétries de torsion des grandes cornes, l'inégalité des tractions musculaires joue sans doute un rôle en raison d'activités fonctionnelles déséquilibrées entre les deux côtés. Cette explication est privilégiée par Ubanová *et al.*(2014) qui observent aussi des asymétries de courbure et de direction des grandes cornes. Ce critère doit attirer l'attention s'il est présent chez des individus en cours de croissance, car la fonction musculaire déséquilibrée aura des conséquences sur l'apparition d'une asymétrie faciale. Dans notre échantillon, nous observons 5 sujets immatures sur 94 présentant une asymétrie des grandes cornes et 2 sujets présentant une asymétrie de divergence.

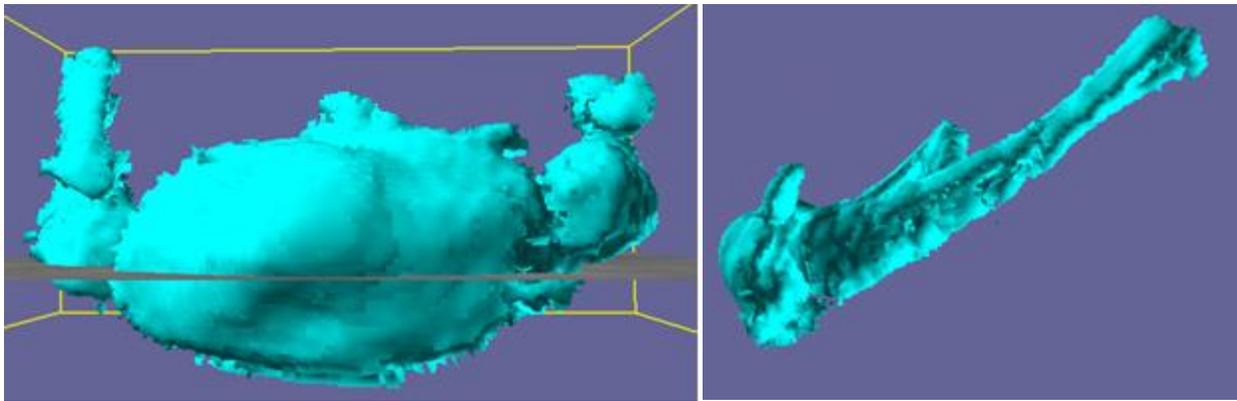


Figure IV. 13 : Os hyoïde dissymétrique, avec des grandes cornes présentant une orientation différente dans les plans sagittal et axial

1.2.4. Fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde : analyse des influences biologiques

Comme nous l'avons évoqué, l'interprétation des données concernant les classes d'âges élevés doit prendre en compte les effectifs très faibles de ces classes.

La fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde étant un processus biologique théoriquement lié à l'âge, son évaluation dans le cadre d'une estimation de l'âge pourrait sembler pertinente, si des corrélations fortes confirment cette liaison. Les résultats de notre étude démontrent que ce critère n'est pas fiable dans l'estimation de l'âge d'un individu. Si le pourcentage de fusion est certes bien plus élevé dans le groupe des individus âgés de plus de 50 ans (25 %) que chez les sujets de moins de 30 ans (14.2 %), cette différence n'est pas significative (*cf.* III.2.2.5).

L'observation dans notre échantillon d'un état de fusion bilatérale complète chez un individu de 20 ans ainsi que l'absence de fusion chez un sujet de 60 ans prouvent tous les deux le caractère individuel de ce processus. Certes, pour un échantillon composé dans notre étude

de 83 individus adultes, avec des fusions bilatérales observées seulement chez 14 individus, les différences statistiquement significatives entre sous-groupes - sont difficilement dépistées.

Sur un échantillon plus important, composé de 600 individus âgés de 20 à 90 ans, Ito *et al.* (2012), concluent à une augmentation des fusions complètes proportionnelle à l'âge. Ils rapportent également une absence de fusion chez 13.6 % des hommes et 26.1 % des femmes âgés entre 70 et 79 ans, ainsi que chez un individu âgé de plus de 80 ans. L'âge minimal où la fusion complète est observée varie selon les études. La fusion n'apparaît pas chez des sujets de moins de 25 ans d'après Harjeet *et al.* (2010), chez des sujets de moins de 30 ans selon Gupta *et al.* (2008). Nous observons au contraire un taux de fusion complète s'élevant à 11.9 % chez des sujets âgés de 20 à 29 ans, en accord avec les résultats de Miller *et al.* (1998). Parsons (1909) ainsi que O'Halloran et Laudy (1987) rapportent dans leurs études respectives un seul cas de fusion complète chez un sujet féminin de moins de 20 ans. La fusion unilatérale ou incomplète est assez fréquente, ce type de cas est observé respectivement dans 12.1 % et 13.4 % de notre échantillon total. Cette constatation rejoint celles de Parsons (1909), O'Halloran et Lundy (1987), Gupta *et al.* (2010) ainsi que celle de Balseven *et al.* (2013).

L'évaluation de l'influence du sexe sur l'état de fusion que nous avons réalisée ne met pas en évidence une fusion plus tardive chez les individus de sexe féminin. Un plus grand effectif permettrait de mieux évaluer cet aspect. Les études réalisées sur cette question rapportent en effet des résultats contradictoires : O'Halloran *et al.* (1987) constatent une fusion plus fréquente chez les hommes tandis que d'autres auteurs (Miller *et al.* 1998, Balseven *et al.* 2013) ne trouvent pas de différence significative entre hommes et femmes.

Les variations affectant la fusion des grandes cornes au corps en fonction de l'origine de la population ont été abordées par O'Halloran *et al.* (1987), qui ne trouvent aucune différence entre les sujets d'origine caucasienne et ceux d'origine africaine. Dans notre travail, la comparaison de l'état de fusion entre les échantillons vietnamien et français, permet de constater un état de fusion qui semble plus tardif chez les sujets français, mais la différence n'est pas significative.

La fusion retient l'attention des anthropologues et médecins légistes, car c'est un facteur prédisposant à des fractures de l'os hyoïde en cas de strangulation *ante-mortem* (O'Halloran *et al.* 1987, Pollanen et Chiasson 1996). Pourtant, comme l'ont signalé O'Halloran *et al.* (1987), la présence fréquente de fusions unilatérales doit être prise en compte pour éviter un faux diagnostic de fracture de l'os hyoïde. À travers les données présentées dans notre étude et celles des études antérieures, la fusion des grandes cornes au corps apparaît comme un phénomène sujet à de grandes variations individuelles qui en font un critère non fiable dans l'estimation de l'âge. Les facteurs décisifs ou ayant une influence sur sa réalisation étant inconnus, la mise en place et la durée de ce processus restent toutes deux indéterminées.

1.3. La position de l'os hyoïde et ses variations

L'évaluation de la position de l'os hyoïde et de ses variations biologiques complète notre étude. Il s'agit d'un sujet qui retient depuis longtemps l'attention des chercheurs, tant en anthropologie qu'en médecine dentaire. En Paléoanthropologie, le rôle de la position basse de l'os hyoïde dans le développement du langage a fait l'objet d'investigations (Cf. I.4.1 et I.4.2). En Médecine, les modifications de position de l'os hyoïde dans des différentes situations physiologiques, pathologiques ou post-interventionnelles, sont amplement étudiées.

La méthode unanimement utilisée pour l'étude de la position de l'os hyoïde est l'évaluation de ses distances ou de ses inclinaisons par rapport aux structures crânio-cervico-faciales sur les téléradiographies de profil de la face et du cou.

Notre étude utilise 11 mesures linéaires et 2 mesures angulaires pour évaluer la position de l'os hyoïde horizontalement et verticalement par rapport à la base du crâne, au maxillaire, à la mandibule et à la colonne cervicale (cf. II.2.2), précédemment décrites dans différentes études (e.g. Stepovich 1965, Tallgren *et al.* 1983, Tallgren et Solow 1984, 1987, Haralabakis *et al.* 1993, Sahin Saglam et Uydas 2006, Harding-Kaba *et al.* 2008). Nos résultats sur les variations positionnelles de l'os hyoïde en fonction du sexe ou de l'âge sont en accord avec ceux des études précédentes. Nous ne discuterons ici que quelques points qui nous semblent particulièrement importants.

1.3.1. Position de l'os hyoïde et dimorphisme sexuel

La comparaison entre les deux sexes met en évidence une position horizontale plus antérieure de l'os hyoïde chez les sujets masculins, enfants et adultes. La différence affectant la position verticale n'est observée que chez les adultes, avec une position significativement plus basse chez les hommes.

Cette observation d'un dimorphisme sexuel intéressant la position de l'os hyoïde rejoint celles de Haralabakis *et al.* (1993), Sahin Saglam *et al.* (2006), Harding-Kaba *et al.* (2008), et Marsan *et al.* (2008). L'absence de dimorphisme sexuel pour la position de l'os hyoïde est observée chez les enfants avant l'adolescence par Bibby et Preston (1982), Tsai *et al.* (2002).

Plusieurs hypothèses sont possibles pour expliquer ces différences en fonction du sexe: celles-ci peuvent être dues aux dimensions faciales, à la posture de la tête ou à des fonctions distinctes.

1.3.1.1. Influence des dimensions faciales

La position de l'os hyoïde par rapport à d'autres structures (maxillaire, mandibule, vertèbres cervicales) est évaluée exclusivement par les distances dans le sens horizontal ou vertical. Cette position est-elle vraiment plus antérieure et plus basse chez les hommes, ou bien

s'agit-il d'une augmentation proportionnelle avec des dimensions faciales plus grandes chez eux ?

La comparaison des dimensions faciales (*cf.* III.3.2) montre en effet des différences significatives entre hommes et femmes pour les dimensions sagittales et verticales. La profondeur faciale inférieure (distance Me-Cerv), la longueur mandibulaire, les hauteurs des étages inférieur ou moyen de la face sont significativement plus grandes chez les hommes. Ces différences chez les adultes sont également rapportées dans la littérature : Bibby (1979) trouve que les dimensions crânio-faciales en général sont plus petites chez les femmes tandis que Kharbanda *et al.* (1991) démontrent que les hauteurs faciales antérieure et postérieure sont significativement plus grandes chez les hommes.

La comparaison des rapports entre les distances de l'os hyoïde et les dimensions faciales permet de vérifier cette hypothèse. Les dimensions faciales mesurées dans notre étude (*cf.* III.3.2) sont reprises ici pour calculer des rapports avec les variables linéaires de position de l'os hyoïde et les comparer en fonction du sexe.

Les rapports calculés entre les variables de position horizontale de l'os hyoïde et les dimensions faciales sagittales (profondeur de l'étage moyen de la face, profondeur inférieure de la face, distance menton-colonne vertébrale), montrent toujours des différences significatives (Tableau IV.14). En effet, la position de l'os hyoïde par rapport à la colonne vertébrale, reste significativement plus antérieure chez les hommes. Chez les enfants, les dimensions faciales ne sont pas différentes entre filles et garçons, mais la position de l'os par rapport à la colonne vertébrale reste aussi plus antérieure chez les garçons.

	Enfants			Adultes		
	Filles	Garçons	<i>p</i>	Femmes	Hommes	<i>p</i>
Rapport Hy-C3 /Me-Cerv	0.34 ± 0.04	0.37 ± 0.05	0.01	0.34 ± 0.03	0.37 ± 0.04	0.01
Rapport Hy-C3 / ENA-Ar	0.36 ± 0.05	0.40 ± 0.07	0.04	0.36 ± 0.04	0.41 ± 0.07	0.002
Rapport Hy-C3/Longueur Max	0.60 ± 0.07	0.63 ± 0.11	0.26	0.60 ± 0.05	0.69 ± 0.10	< 0.001
Rapport Hy-C3 /Longueur Man	0.45 ± 0.06	0.48 ± 0.06	0.12	0.45 ± 0.05	0.51 ± 0.08	0.01

Tableau IV. 14 : Comparaison des rapports entre la position horizontale de l'os hyoïde et les dimensions faciales sagittales entre sexes

Comme la position horizontale, la position verticale de l'os hyoïde par rapport à la colonne cervicale reste significativement différente quand nous comparons les rapports entre la distance verticale de l'os hyoïde avec la 3e vertèbre cervicale et les hauteurs de la face (Tableau IV.15). En revanche, les rapports de positions verticales par rapport à la base du crâne, le maxillaire ou la mandibule ne sont pas significativement différents.

	Enfants			Adultes		
	Filles	Garçons	p	Femmes	Hommes	p
Rapport Hy-C3 vert /hauteur totale	0.02 ± 0.06	0.04 ± 0.04	0.152	0.03 ± 0.05	0.06 ± 0.03	0.042
Rapport Hy-C3 vert / hauteur moyenne de la face	0.05 ± 0.12	0.09 ± 0.07	0.236	0.06 ± 0.11	0.14 ± 0.08	0.030
Rapport Hy-C3 vert / hauteur inférieure de la face	0.04 ± 0.10	0.09 ± 0.09	0.129	0.05 ± 0.10	0.11 ± 0.06	0.056
Rapport Hy-S/ hauteur totale	0.87 ± 0.05	0.88 ± 0.05	0.801	0.89 ± 0.06	0.89 ± 0.05	0.944
Rapport Hy- FH/hauteur totale	0.71 ± 0.06	0.71 ± 0.06	0.794	0.74 ± 0.05	0.73 ± 0.04	0.360
Rapport Hy- Mx/hauteur totale	0.50 ± 0.04	0.50 ± 0.05	0.876	0.52 ± 0.05	0.53 ± 0.05	0.795
Rapport Hy- Mn/hauteur totale	0.14 ± 0.04	0.14 ± 0.05	0.893	0.14 ± 0.04	0.15 ± 0.05	0.440

Tableau IV. 15 : Comparaison des rapports entre la position verticale de l'os hyoïde et les dimensions faciales verticales entre sexes

Cette comparaison démontre que la position de l'os hyoïde reste significativement plus antérieure et plus inférieure par rapport à la colonne cervicale chez les hommes lorsque l'effet taille des dimensions faciales est supprimé par la réalisation de pourcentage.

1.3.1.2. Rôle de la statique céphalique

On peut se demander si les différences de positions (horizontale et verticale) de l'os hyoïde entre hommes et femmes sont dues à des postures de la tête différentes, étant donné que seules les distances avec la colonne cervicale sont significativement plus grandes pour le sexe masculin. La colonne cervicale n'est pas un repère fixe, elle peut varier en fonction de la posture céphalique, et modifier ainsi son rapport avec l'os hyoïde. Une différence de posture entre hommes et femmes pourrait alors entraîner les différences pour la position de l'os hyoïde observées. Notre analyse de ces aspects conduit à quelques constats :

- pour la différence de posture de la tête selon le sexe : chez les hommes, l'angle de la vertèbre C2 avec la base du crâne est significativement plus grand et la courbure cervicale plus faible mais de manière non significative (cf. III.2.4.3.3.1). Une différence de posture existe donc entre les hommes et les femmes et nous ne pouvons pas exclure son influence sur le dimorphisme sexuel de positionnement de l'os hyoïde. La littérature fournit cependant des résultats différents des nôtres: Sahin Saglam et Uydas (2006), en comparant la posture de 39 hommes et 39 femmes de même type facial (classe I squelettique), en position naturelle de la tête, ne trouvent aucune différence entre les deux sexes. Leurs résultats sont en accord avec ceux de Marşan (2008) qui comparent la posture entre 39 femmes et 30 hommes en classe III squelettique.

- pour l'influence de la posture céphalique sur la position de l'os hyoïde : notre étude ne démontre pas de lien entre ces deux paramètres, les coefficients de corrélation entre les variables de position et celles de posture ne sont pas significatifs (cf. III.2.4.3.3.2). Dans la littérature, quelques études mettent en évidence les changements immédiats de position de l'os hyoïde suivant différentes postures céphaliques (Hellsing 1989, Nagai *et al.* 1989). En revanche, les adaptations positionnelles de l'os hyoïde à long terme ne montrent pas de différences significatives, comme dans l'étude la position de l'os hyoïde dans un groupe de 19 enfants présentant une extension céphalique (Kumar *et al.* 1995).

Les résultats variés de notre étude et des études précédentes montrent que l'influence de la posture de la tête sur la position de l'os hyoïde ainsi que la différence de posture entre hommes et femmes ne peuvent pas être niées, mais qu'elles restent délicates à interpréter, car la posture céphalique est soumise également à d'autres influences, telles que les activités fonctionnelles ou la typologie faciale et qu'il est difficile d'isoler tous ces facteurs.

1.3.1.3. Influence éventuelle des fonctions

La position de l'os hyoïde est donnée par l'équilibre entre les muscles qui s'insèrent dessus. Ces muscles sont impliqués dans des fonctions de déglutition, de ventilation et phonation. Quelle fonction influence la position de l'os hyoïde et comment ? Notre étude contient des mesures permettant d'évaluer l'influence de la fonction ventilatoire (par les dimensions des VAS) sur la position de l'os hyoïde. Celle-ci sera discutée dans la partie portant sur la relation entre l'os hyoïde et les VAS.

Pour la position de l'os hyoïde pendant la déglutition ou la phonation la littérature concernant le sujet est très vaste, nous limitons la recherche sur le point principal : l'os hyoïde se déplaçant durant la déglutition et la phonation, ces mouvements sont-ils différents entre les sexes et dans ce cas, quel est leur impact sur la position statique de l'os hyoïde ?

Nous n'avons pas trouvé d'étude qui recherche directement une différence des comportements fonctionnels associés à la déglutition selon le sexe. Les études se concentrent sur la mesure de l'amplitude des déplacements de l'os hyoïde durant la déglutition, chez les sujets normaux ou présentant des dysphagies, ou sur l'activité musculaire et les déplacements hyoïdiens face à des alimentations différentes en nature ou en dimension (Molfelter et Steele 2011, Inokuchi *et al.* 2015, Lee *et al.* 2015). Van der Kruis *et al.* (2011), dans leur revue systématique de la littérature, citent une dizaine d'études évaluant les mouvements de l'os hyoïde durant la déglutition et précisent que ces études ne sont pas comparables en raison des différences de méthodes et de mesures utilisées. L'étude de Kim et McCullough (2011) répond cependant partiellement à notre interrogation. Ces auteurs, en comparant les examens vidéofluoroscopiques de 40 sujets normaux ne trouvent pas de différence significative au niveau

des déplacements antérieurs ou verticaux de l'os hyoïde durant la déglutition entre les hommes et les femmes, mais constatent des différences chez les personnes plus âgées.

Quant à la phonation, dans la littérature, les méthodes d'évaluation ou de mesure de l'implication de l'os hyoïde dans cette fonction varient des évaluations kinématiques de ses mouvements à l'évaluation du rôle des muscles s'insérant dessus. Nous résumons quelques études concernant la différence d'implication de l'os hyoïde dans la phonation en fonction du sexe

- Murry et Singh (1980), dans leur analyse multidimensionnelle de la voix des hommes et des femmes trouvent que la différence de "Fréquence fondamentale" entre sexes est liée à des paramètres du conduit vocal. Fitch et Giedd (1999) observent une différence significative de dimension et de morphologie du conduit vocal après la puberté, avec une augmentation de sa longueur et du rapport entre les cavités orale et pharyngée chez les hommes.
- De plus, l'étude de Hiimae *et al.* (2002) met en évidence une différence des mouvements de l'os hyoïde lors de phonation chez les hommes et les femmes. Ces auteurs l'expliquent par des différences anatomiques entre sexes après la puberté, en particulier une migration plus basse de l'os hyoïde et du complexe laryngé chez l'homme. La relation des positions statique et dynamique de l'os hyoïde est donc réciproque.

Cette brève revue de la littérature sur les implications de l'os hyoïde dans la phonation et la déglutition montre que l'os hyoïde effectue des déplacements durant ces fonctions. Ces déplacements ne sont pas significativement différents selon le sexe durant la déglutition (Kim et McCullough 2011) mais ils le sont durant la phonation (Hiimae *et al.* 2002). L'impact de ces mouvements différents sur la position statique de l'os hyoïde est donc possible mais cette hypothèse mérite d'être confortée par d'autres données pour être validée.

L'analyse de la position plus basse et plus antérieure de l'os hyoïde chez les hommes conduit à conclure que celle-ci est le résultat d'une interaction complexe et réciproque de plusieurs paramètres anatomiques et fonctionnels : les dimensions faciales, la posture céphalique, les fonctions musculaires, etc.

1.3.2. La descente de l'os hyoïde de l'enfant à l'adulte

En comparant la position de l'os hyoïde entre les enfants de 7 à 16 ans et les adultes, nous observons une position plus basse chez les adultes, qui se traduit par des distances plus grandes entre l'os hyoïde et la base du crâne, le plan de Francfort ou le maxillaire. À l'opposé, le rapport hyo-mandibulaire reste stable de l'enfant à l'adulte.

Cette observation de la descente de l'os hyoïde de l'enfant à l'adulte par rapport aux structures cranio-faciales concorde avec les observations d'autres auteurs :

- L'étude longitudinale de Durzo et Brodie (1962) sur 5 séries de radiographies de 3 ans à 17 ans montre également une stabilité de relation hyo-mandibulaire durant la croissance après 3 ans et une descente de l'os hyoïde par rapport à la base du crâne et aux vertèbres cervicales. King (1952), Taylor *et al.* (1996), constatent que l'os hyoïde évolue considérablement à la puberté.
- Sénécaïl (1978) détaille ces changements dans les deux sexes : l'os hyoïde arrête sa descente au niveau de la mi-hauteur de la 3^{ème} vertèbre cervicale chez les filles après la puberté tandis qu'il continue à descendre chez les garçons pour atteindre la hauteur du plateau supérieur de C4. Des auteurs expliquent cette descente relative de l'os hyoïde par une croissance axiale du rachis cervical (Doual *et al.* 2003) et par l'influence de la croissance faciale (Taylor *et al.* 1996). Ces derniers auteurs montrent que le déplacement hyoïdien est en accord avec la direction en bas et en avant de la croissance du squelette facial.
- Notre observation ainsi que celle de Durzo et Brodie (1962) sur la stabilité de la relation hyo-mandibulaire supporte l'hypothèse de Taylor *et al.* (1996) qui attribuent le déplacement vers l'avant de l'os hyoïde à la translation vers l'avant de la mandibule.

1.4. Biodiversité de l'os hyoïde et implications en anthropologie biologique

Selon Dutour *et al.* (2005 : 11), "L'anthropologie biologique s'attache à étudier l'Homme, ses caractéristiques biologiques, son évolution et sa diversité dans l'espace et dans le temps". De ce point de vue, nos résultats répondent à cette attente, apportant une documentation sur les dimensions de l'os hyoïde de l'homme moderne, sa diversité morphologique, sa position, son évolution au cours de la croissance et du vieillissement, son dimorphisme sexuel, ainsi que sur les variations inter-populationnelles. Cette base de données peut donc servir lors de l'étude d'os hyoïdes issus de sites archéologiques, en suivant la classification que nous avons élaborée (*cf* IV 1.2.2).

Un premier exemple est illustré avec le spécimen fossile le plus complet, Kebara 2 (Figure IV.14). Ainsi, deux des dimensions rapportées (Arensburg *et al.* 1987), la longueur totale (35.5 mm) et la largeur totale (40 mm), sont très proches des dimensions observées dans notre étude (Tableau IV.16). Si nous considérons que la largeur maximale du corps mesurée sur l'os de Kebara 2 (24.6 mm ; Arensburg *et al.* 1987) peut être assimilée à la largeur antérieure utilisée dans notre étude, nous pouvons ainsi situer Kébara 2 dans notre classification sur la base des rapports pris en compte (rapport largeur antérieure/ largeur totale = 0.65 ; rapport largeur totale/longueur totale = 1.13) : l'os hyoïde de l'adulte Kébara 2 se caractérise par une forme en U étroit.



Figure IV. 14 : Dimensions et forme de Kébara 2 (d'après Arensburg et al. 1989)

Un deuxième exemple de cette application en anthropologie pourrait être la comparaison de trois mesures issues de notre échantillon d'os actuels avec celles collectées par Steel *et al.* (2013) sur des os plus anciens de la collection ostéologique du Museum d'Histoire naturelle de Londres (British Natural History Museum, London). Cette comparaison montre une similitude des dimensions entre les deux échantillons (tableau IV.16)

		Largeur totale	Longueur totale	Longueur des grandes cornes
Kébara 2		40	35.5	25
Steel et al. (2013) n = 37		40.7 ± 5.2	36 ± 4.1	28.1 ± 3.8
Notre étude n=177	Tous	39.3 ± 5.8	32.7 ± 3.4	26 ± 2.8
	Femmes	38 ± 5.2	31.8 ± 2.7	25.5 ± 2.3
	Hommes	42.6 ± 6.1	35 ± 3.8	27.4 ± 3.5

Tableau IV. 16 : comparaison des dimensions de l'os hyoïde ancien et actuel

Un des objectifs méthodologiques en anthropologie biologique est l'amélioration des critères d'identification du profil biologique (âge et sexe) des individus mis au jour en l'absence d'archives écrites. Pour la diagnose du sexe, le dimorphisme sexuel de l'os hyoïde fournit un taux de diagnose correct assez élevé (bien que n'atteignant pas 90%) qui permet de le retenir en cas d'absence d'éléments diagnostiques décisifs (à savoir l'os coxal). En revanche, nos résultats sur la grande variabilité de l'âge de fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde indiquent que ce paramètre n'est pas un critère fiable pour l'estimation de l'âge d'un individu.

L'évolution dimensionnelle et morphologique de l'os hyoïde du jeune enfant à l'adolescent fournit des informations inédites sur une croissance différentielle de l'os hyoïde (non

fusionné) entre les deux sexes à l'âge post-pubertaire, induisant un dimorphisme sexuel. Le lien entre cette croissance différentielle et la phonation se trouve ainsi également posé, elle pourrait être à l'origine de la différence de sons entre hommes et femmes, voire entre populations.

2. Les relations entre l'os hyoïde et les VAS

Notre approche des relations entre l'os hyoïde et les VAS s'est voulue la plus complète possible en associant à la comparaison directe des dimensions de l'os hyoïde et des VAS et de leurs évolutions respectives au cours de la croissance, une comparaison de leur forme et une analyse des variations de positions respectives des deux ensembles anatomiques

Les résultats (*cf.* III.2.3.4 et III.2.4.4) mettent en évidence l'existence de relations étroites entre les dimensions de l'os hyoïde et celles des VAS, ainsi qu'entre la position de l'os hyoïde et les dimensions des VAS. Par contre, les relations entre la morphologie de l'os hyoïde et celle des VAS semblent plus ambiguës

2.1. Relations entre les dimensions de l'os hyoïde et celles de l'oropharynx

Les coefficients de corrélation ne montrent pas de liens dimensionnels forts entre l'os hyoïde et le nasopharynx, mais confirment une relation étroite entre l'os hyoïde et l'oropharynx. La relation étroite ces deux unités anatomiques se manifeste par des corrélations significatives et par une similitude de leur évolution avec l'âge.

2.1.1. Corrélations significatives entre l'os hyoïde et la coupe inférieure de l'oropharynx

Les largeurs et longueurs de l'os hyoïde sont positivement corrélées avec la surface, les largeurs et longueurs de la coupe inférieure de l'oropharynx (*cf.* chapitre III.2.3.4.1, tableau III.65). Nos résultats appuient une hypothèse avancée par Steel *et al.* (2013) sur le lien entre la largeur totale maximale de l'os hyoïde et la dimension transversale de la base de l'oropharynx, hypothèse émise à partir des études antérieures de Perrier *et al.* (1992) ou Taylor *et al.* (1996).

Ces corrélations s'expliquent par le lien anatomique entre l'os hyoïde et l'oropharynx. D'après Macheneaud (1978), l'os hyoïde fixe la filière respiratoire, il maintient le larynx à une distance suffisante de la colonne vertébrale et du mur pharyngé postérieur, permettant de conserver la lumière oropharyngée.

2.1.2. Évolution dimensionnelle similaire de l'os hyoïde et des VAS

L'analyse des dimensions des VAS, (*cf.* III.2.3.2) montre des variations en fonction de l'âge et du sexe similaires à celles observées sur l'os hyoïde. Les dimensions de ces deux structures

entre le stade immature et le stade adulte ont les mêmes caractéristiques d'évolution, avec une augmentation plus importante chez les sujets masculins à l'âge post-pubertaire.

Concernant les VAS, nos observations confirment les résultats rapportés dans plusieurs études précédentes, en 2D ou 3D, en particulier quant à l'absence de différences de dimensions entre les sexes chez les immatures avant la puberté (*e.g.* Solow *et al.* 1984, Ceylan et Oktay 1995). Des études longitudinales de croissance sur des téléradiographies de profil ou les études transversales en 3D illustrent une croissance des VAS post-pubertaire plus importante chez les individus immatures masculins (*eg.* Tsai 2007, Ronen *et al.* 2007, Chiang *et al.* 2012, Schendel *et al.* 2012), en accord avec notre propre étude.

En revanche, une revue de la littérature dégage peu d'informations sur l'évolution des dimensions de l'os hyoïde, à l'exception de celles fournies par Sénécail (1978) qui remarque simplement l'apparition d'un dimorphisme sexuel les concernant à partir de la puberté qu'il explique par la poursuite du développement de l'os hyoïde masculin après cet âge, mais sans plus de précision. La mise en évidence d'une évolution dimensionnelle de même ordre affectant l'os hyoïde et les VAS de l'enfance au stade adulte représente donc un apport de notre étude.

2.1.3. Diagnostic et thérapeutique

La relation dimensionnelle entre l'os hyoïde et les VAS, a été longtemps l'objet d'interrogations. Plusieurs auteurs ont évalué indirectement ce lien grâce à des études de la position de l'os hyoïde chez des sujets présentant un syndrome d'apnée obstructive du sommeil (SAOS) (Battagel *et al.* 1999, Vieira *et al.* 2011). L'étude de Andersson et Brattström (1991) sur les téléradiographies de profil montre un pharynx plus étroit dans le sens antéro-postérieur et une position plus basse de l'os hyoïde chez les sujets porteurs du SAOS. Récemment, Ha *et al.* (2013) ont été les premiers à étudier les corrélations entre les dimensions de l'os hyoïde et la sévérité de l'index apnéique chez les sujets présentant un SAOS, ils trouvent que les largeurs et longueurs de l'os hyoïde sont inversement corrélées avec les Index apnéiques chez les hommes. Ces différentes corrélations pourraient être utilisées dans le dépistage des facteurs prédisposant au Syndrome d'apnée obstructive du sommeil (SAOS).

Une des implications directes de ces relations serait la possibilité du traitement du SAOS par l'augmentation des dimensions pharyngées est expansion de l'os hyoïde.

Les interventions du type hyomyotomie et suspensions de l'os hyoïde sont proposées par Riley *et al.* (1984, 1986, 1994) ; cependant, les efficacités rapportées sont contradictoires en fonction des études (Riley *et al.* 1994, Troell *et al.* 1998, Bowden *et al.* 2005).

Récemment, Toh *et al.* (2013) ont testé la technique d'expansion de l'os hyoïde sur des cadavres humains et ont montré une augmentation post-opératoire significative (plus de 100%) des surfaces rétro-linguales de l'oropharynx. Suite à leurs travaux, Ha *et al.* (2013) expliquent

l'efficacité de cette intervention par l'augmentation du calibre de l'oropharynx liée à l'expansion du mur hypopharyngé causé par les muscles du constricteur moyen et hyo-glosse lors des déplacements latéraux des grandes cornes qui leur donnent insertion.

Harmans *et al.* (2013) sont les premiers à avoir étudié l'efficacité de cette technique d'expansion de l'os hyoïde *in-vivo*. Les auteurs constatent une absence d'amélioration des signes de SAOS après l'intervention (Index apnéique, somnolence diurne, etc.). Les modifications des dimensions de l'oropharynx après l'expansion de l'os hyoïde ne sont cependant pas mesurées dans leur étude.

Ces résultats contradictoires obtenus par ces différents auteurs indiquent que :

- la relation entre les dimensions de l'os hyoïde et les dimensions de l'oropharynx est évidente au niveau anatomique mais qu'elle est certainement plus complexe au niveau fonctionnel. Plus d'études devront être menées afin de déterminer si l'augmentation artificielle des dimensions de l'os hyoïde entraîne une augmentation équivalente des dimensions des VAS et ses éventuelles répercussions ventilatoires ;
- un oropharynx étroit ne constitue qu'une des causes du SAOS, l'augmentation de ses dimensions représente donc une des possibilités de traitement, sans pour autant apporter une solution complète. Cette pathologie complexe étant toujours une question d'actualité, davantage de recherches et de recul sur ces traitements seront nécessaires.

2.2. Relations entre la position de l'os hyoïde et les dimensions des VAS

Les résultats qui se dégagent quant aux corrélations entre les dimensions des VAS et les variables de position de l'os hyoïde (*cf.* III.2.4.4) dans notre étude peuvent être résumés ainsi :

- des corrélations significatives existent entre les dimensions sagittales et les surfaces des coupes axiales de l'oropharynx d'une part, la position horizontale de l'os hyoïde par rapport à la symphyse mandibulaire d'autre part. Ces corrélations sont cependant faibles, avec un coefficient r maximal qui ne dépasse pas 0.5 (*cf.* III.2.4.4, tableau III.75) ;
- en revanche, la position verticale de l'os hyoïde est liée étroitement ($r > 0.7$) aux hauteurs des VAS (*cf.* III.2.4.4, tableau III.76) mais pas aux surfaces des coupes.

Ces résultats conduisent à discuter deux points évoqués dans la littérature sur la relation réciproque entre les VAS et la position de l'os hyoïde:

- + Le premier point est la perméabilité des voies aériennes qui est un des facteurs principaux du positionnement de l'os hyoïde (Tourné 1991).
- + Le deuxième point est le recul ou l'avancement forcé du positionnement de l'os hyoïde qui entraîne des modifications des dimensions des VAS.

Nous allons développer ci-dessous ces deux points

2.2.1 Dimensions des VAS et position de l'os hyoïde

Nos résultats, qui semblent montrer un lien faible dans le sens antéro-postérieur et fort dans le sens vertical entre les deux structures, concordent avec les observations d'autres auteurs, tels Linder-Aronson (1979) ou Bibby (1984) qui constatent une identité de la position sagittale de l'os hyoïde (distance hyoïde-rachis cervicale n'est pas différente) chez les sujets normaux ou présentant une hypertrophie des amygdales (Linder-Aronson 1979) ou une ventilation orale (Bibby 1984). Ils supportent l'hypothèse de Tourné (1991). Suite à l'analyse de la série longitudinale de téléradiographies d'un cas de polyarthrite rhumatoïde de Durzo et Brodie (1962) (Figure IV.15), Tourné (1991) observe une adaptation verticale de positionnement de l'os hyoïde en cas de rétrécissement des VAS pour maintenir une perméabilité. Selon Tourné, dans les cas où la mandibule se déplace en arrière par rapport aux autres structures crânio-faciales, la perméabilité vitale de l'oropharynx sera en danger si la langue et l'os hyoïde suivent ce mouvement. Pour pallier ce risque, l'os hyoïde se déplace dans une position inférieure assurant ainsi un diamètre antéro-postérieur de l'oropharynx relativement constant. C'est la raison pour laquelle Tourné (1991) considère que la stabilité et la perméabilité des voies aériennes sont des facteurs principaux du positionnement de l'os hyoïde.

D'autres études sur le lien anatomo-fonctionnel entre les VAS et l'os hyoïde dans les cas de ventilation normale et de gêne ventilatoire apportent des éléments explicatifs pour cette hypothèse :

- En cas de ventilation normale, l'os hyoïde n'effectue que des mouvements minimes (Sénécaïl 1979). Sous l'action des différentes sangles musculaires afin d'assurer le maintien de la perméabilité du couloir pharyngé. Lors de la ventilation, il subit de nombreuses contraintes qui doivent s'équilibrer. L'os hyoïde est attiré en bas et en arrière par la traction trachéo-bronchique. Plusieurs groupes musculaires insérés dessus vont équilibrer cette traction dans un double équilibre antagoniste. L'os hyoïde est tracté fortement en haut et en arrière par le muscle stylo-hyoïdien et le ventre postérieur du digastrique qui l'ancre au neurocrâne. Il est maintenu antérieurement par le mylo-hyoïdien, le génio-hyoïdien et le ventre antérieur du digastrique qui l'attachent fortement à la mandibule. Ce contrôle antérieur de l'os hyoïde est associé à l'action du muscle génioglosse qui avance la base de la langue afin de réduire la résistance à l'écoulement de l'air. Les muscles sous-hyoïdiens, quant à eux, tendent l'aponévrose cervicale moyenne et de ce fait agissent contre l'aspiration des tissus mous due à la dépression inspiratoire.
- En cas d'une obstruction pharyngée et d'une ventilation buccale, les différents muscles insérés sur l'os hyoïde adaptent sa position et peut-être son orientation, aux sollicitations physiologiques provoquées.

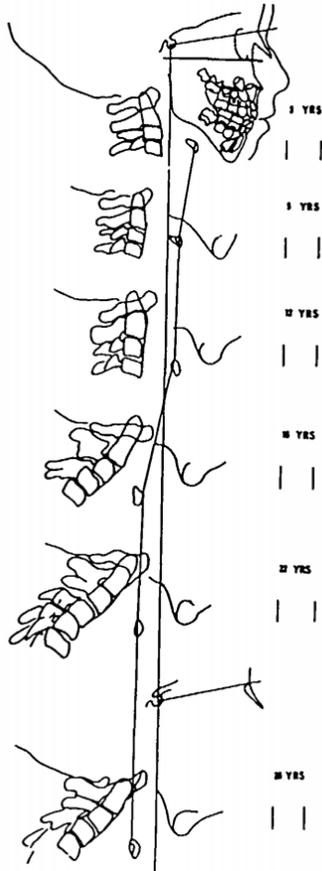


Figure IV. 15 : Téléradiographies en série longitudinale d'un sujet présentant une polyarthrite rhumatoïde depuis l'enfance, montrant une réponse positionnelle adaptative plus inférieure de l'os hyoïde suite au recul mandibulaire. (D'après Durzo et Brodie 1962).

Selon Tourné (1991), l'orientation des grandes cornes de l'os hyoïde jouerait un rôle plus important dans l'adaptation hyoïdienne aux dimensions pharyngées. Or, dans notre étude, cette hypothèse ne peut être confirmée, les coefficients de corrélation entre l'orientation des grandes cornes de l'os hyoïde et les dimensions de l'oropharynx sont faibles et non-significatifs.

2.2.2. Modifications dimensionnelles des VAS suite au changement de position de l'os hyoïde

Les études du comportement de l'os hyoïde et des modifications dimensionnelles des VAS après chirurgie orthognathique modifiant la position initiale de l'os hyoïde par déplacement de la mandibule (avancement ou recul mandibulaire) montrent à court et long terme des résultats différents.

Dans les chirurgies de recul mandibulaire, à court terme post-opératoire, l'équipe d'Aydemir *et al.* (2012) observe une diminution significative de surface de l'oropharynx sans accompagnement d'un changement de position de l'os hyoïde ou de posture crânio-cervicale. Également à court terme, l'étude de Kim *et al.* (2013) qui évalue les VAS en trois dimensions, montre que 6 mois après une chirurgie bimaxillaire (recul mandibulaire associé à un avancement maxillaire), le volume de l'oropharynx diminue et cette diminution est corrélée avec l'amplitude du déplacement inféro-postérieur de l'os hyoïde observé et de l'inclinaison du plan palatin.

En revanche, des études à plus long terme dépistent des changements adaptatifs de l'os hyoïde pour maintenir les dimensions des VAS, comme celle de Efendiyeva *et al.* (2014), qui évalue les conséquences des chirurgies bimaxillaires avec un recul de 5 ans. Ces auteurs observent que les modifications immédiates ou à 5 mois post-opératoires (déplacement vers le haut de l'os hyoïde et diminution de la dimension antéro-postérieure de l'oropharynx) sont compensées à long terme. L'étude d'Eggensperger *et al.* (2005), avec un recul post-opératoire plus long de 12 ans, conclut au même phénomène avec des dimensions pharyngées restant presque inchangées. Ces observations supportent là encore l'hypothèse de Tourné (1991)

L'implication du lien entre la position de l'os hyoïde et les dimensions des VAS concerne aussi le traitement non chirurgical des SAOS. Des observations encourageantes sur des modifications favorables des dimensions des VAS et de position de l'os hyoïde après des traitements orthopédiques (Graber 1978) ou chirurgical (Faure et Casteigt 1999, Achilleos *et al.* 2000, Gale *et al.* 2001) d'avancement mandibulaire confortent la proposition d'utilisation des orthèses d'avancée mandibulaire pour augmenter les dimensions de l'oropharynx chez les sujets apnéiques. De nombreuses études ont démontré l'efficacité de ce traitement simple et de coût moins élevé (e.g. Petitjean 1999, 2002, Lindman et Bondemark 2001, Fransson *et al.* 2002, Fransson 2003), sur la qualité du sommeil et la diminution des symptômes de SAOS, bien que les améliorations objectives des index apnéiques semblent moins importantes proportionnellement aux modifications mesurées sur des dimensions VAS ou la position de l'os hyoïde (Bartolucci *et al.* 2016).

3. L'os hyoïde et les VAS dans les différents types faciaux.

Dans le but de mieux comprendre des facteurs intervenant dans la biodiversité de l'os hyoïde et ses relations avec les VAS, nous les avons étudiés également en fonction des différents types faciaux sagittaux et verticaux. Ainsi, les dimensions des VAS ou de l'os hyoïde sont comparées entre les sous-groupes de types faciaux et les coefficients de corrélation avec les dimensions faciales sont calculés. La figure IV.16 résume l'ensemble de l'approche méthodologique.

Notre approche est plus globale que celle décrite dans la littérature : de nombreuses études évaluent séparément les variations dimensionnelles des VAS ou les variations de position de l'os hyoïde en fonction des types faciaux, mais aucune ne les a comparées sur le même échantillon.

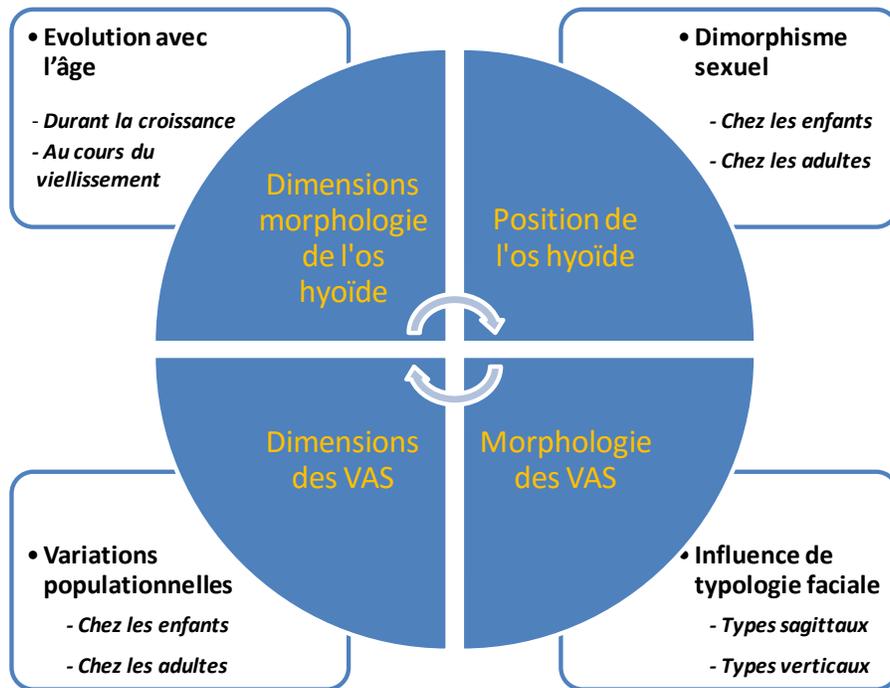


Figure IV. 16 : Schéma résumé de la méthode d'analyse

Nous allons analyser ci-dessous successivement l'influence des types faciaux sagittaux et verticaux sur l'ensemble de ces paramètres.

3.1. Incidence de la typologie faciale sagittale

L'incidence de la typologie faciale sagittale se manifeste principalement par une relation étroite entre la dimension faciale sagittale, les dimensions antéro-postérieures des VAS la position horizontale de l'os hyoïde et la mandibule

Les coefficients de corrélation significatifs sont observés entre les dimensions faciales sagittales, les dimensions antéro-postérieures des VAS et les positions horizontales de l'os hyoïde. La corrélation la plus forte est celle entre la position horizontale de l'os hyoïde par rapport à la mandibule et la profondeur faciale au niveau du menton (distance menton-colonne vertébrale) (cf. III.3.3.3.2 tableau III.90).

Cette corrélation confirme la relation étroite entre l'os hyoïde et la mandibule et démontre qu'en effet l'os hyoïde suit les déplacements de la mandibule et est lié à la dimension sagittale.

Ce lien trouve son application dans les traitements des SAOS par les orthèses d'avancement mandibulaire. Pourtant, les corrélations entre les dimensions des VAS et la position antérieure de l'os hyoïde (cf. tableau III.75) bien que significatives ($p < 0.01$) sont faibles ($r < 0.6$) et elles évoquent également le fait que l'augmentation de dimensions des VAS ne suit pas proportionnellement l'avancement de l'os hyoïde (provoqué par l'avancement mandibulaire), ce qui serait souhaité dans ce traitement. Une revue de la littérature effectuée par Hsieh et Liao (2012) sur 104 publications et 15 études retenues montre qu'il n'existe pas encore de preuve objective de l'influence de l'avancement mandibulaire sur les modifications des VAS et des structures avoisinantes.

La relation étroite os hyoïde -mandibule apporte également des éléments expliquant les différences observées entre les types faciaux sagittaux.

En résumé, ces différences se résument ainsi :

- chez les sujets en classe III squelettique les dimensions faciales sagittales (distance Me-colonne vertébrale, Me-Po, longueur mandibulaire) sont plus grandes (cf. tableau III.79), la surface et la longueur antéro-postérieure de la coupe inférieure de l'oropharynx sont également plus grandes (cf. tableau III.85), l'os hyoïde se trouve dans une position plus antérieure par rapport au plan Po (cf. tableau III.89) ;
- à l'opposé, en classe II où la mandibule est plus reculée par rapport au maxillaire, les dimensions sagittales faciales sont plus courtes, la longueur et la surface de l'oropharynx sont plus petites et l'os hyoïde est plus reculé.
- les dimensions de l'os hyoïde ne sont pas différentes entre les trois classes faciales sagittales.

Les observations ci-dessus dessinent donc deux schémas contraires entre les 2 types faciaux de classe II et classe III (Figure IV.17) :

Classe II squelettique	Classe III squelettique
+ Mesures faciales sagittales plus courtes	+ Mesures faciales sagittales plus longues
+ Os hyoïde plus postérieur	+ Os hyoïde plus antérieur
+ Volume total, volume de l'oropharynx plus petits	+ Volume total, volume de l'oropharynx plus grands.
+ Longueur de la coupe inférieure des VAS plus courte, mais largeur plus grande, rapport largeur/longueur plus grand	+ Longueur de la coupe inférieure des VAS plus grandes, rapport largeur/longueur le plus petit

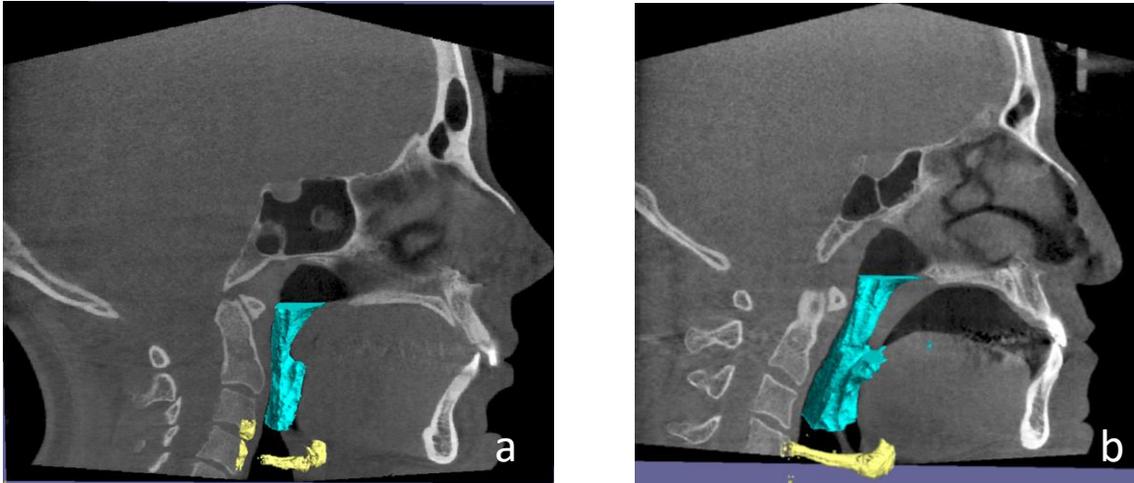


Figure IV. 17 : VAS et os hyoïde dans les classes II (a) et classes III (b) squelettiques

Pourtant, ces différences ne sont pas toutes statistiquement significatives (cf Tableaux III.79, III.85, III.87, III.89) et plusieurs causes peuvent expliquer ces résultats :

- soit un effectif trop faible des sujets de type de classe III, particulièrement dans l'échantillon d'adultes, n'a pas permis au test de comparaison de dépister des différences significatives,
- soit notre classification ne fait que la distinction entre les types faciaux de classe II ou III selon le rapport antéro-postérieur relatif entre la mandibule et le maxillaire. Ainsi, une classe II squelettique peut relever d'une prognathie maxillaire ou d'une rétrognathie mandibulaire, voire de l'association des deux, tandis qu'une classe III peut relever d'une prognathie mandibulaire, d'une rétrognathie maxillaire ou associer les deux. Or, nous avons vu précédemment que les dimensions sagittales des VAS, de l'os hyoïde et la position horizontale de l'os hyoïde sont corrélées étroitement à la mandibule. Donc pour une même classe II, les dimensions faciales ainsi que les autres paramètres des VAS ou de l'os hyoïde peuvent être différentes entre les rétrognathies mandibulaires seules (la mandibule étant anormale) et les prognathies maxillaires seules (la mandibule étant normale). La même chose s'applique aux classes III squelettiques. Dans ce cas, pour que la comparaison n'ait pas de facteur interférant, il faudrait comparer des classes II « rétromandibulies » avec les classes III « promandibulies ». Dans le cadre de notre échantillon, cette comparaison plus restreinte n'a pas pu être envisagée pour des questions d'effectif.
- Un autre facteur est à considérer, c'est l'interférence du type vertical. Un sujet de classe I, II ou III peut être en plus de face moyenne (mésodivergent), longue (hyperdivergent) ou courte (hypodivergent). Ces facteurs verticaux peuvent influencer (cf IV.3.3) également les paramètres de l'os hyoïde ou des VAS. Dans le protocole idéal, pour contrôler les facteurs interférents, nous devons alors comparer entre les classes I, II, III de même type facial vertical

(normodivergent, hypodivergent ou hyperdivergent). Ce protocole nécessite un échantillon beaucoup plus large ayant les sous-groupes répartis de façon équivalente.

Un dernier aspect de l'influence des types faciaux concerne la relation morphologique, des VAS ou de l'os hyoïde. Nous avons observé que chez les sujets en classe II, la coupe inférieure de l'oropharynx a un rapport largeur/longueur significativement plus grand que celui des classes I (cf tableau III.85). L'augmentation de ce rapport s'explique d'une part par la diminution de longueur mais aussi l'augmentation de largeur (en comparant les classes I et II), figurant ainsi un élargissement latéral des VAS dans les cas où la dimension antéro-postérieure est réduite. Les sujets de classe III présentent des coupes inférieures plus larges et plus longues (mais non statistiquement significatives) que les sujets de deux types classe I et II. La question est de savoir si une forme plus large latéralement pourrait compenser la réduction de dimension antéro-postérieure des VAS pour maintenir une lumière pharyngée suffisante, comme cela est parfois évoqué également dans la littérature.

En vérifiant la fréquence des formes des VAS carrées, larges ou très larges latéralement selon notre classification (cf III.2.3.3.2) dans les trois types classe I, II ou III, ce sont les classes II qui présentent le pourcentage le plus élevé de forme large latéralement, tandis que les classes III présentent plus de formes carrées, mais ces différences ne sont pas significatives au test de Fischer (Figure IV.18). Les formes de l'os hyoïde ne diffèrent pas entre les trois classes squelettiques. Les coefficients de corrélations démontrent qu'il n'existe pas de corrélation significative entre les variables morphologiques de l'os hyoïde (rapport largeur/longueur de l'os) et celles des VAS (rapport largeur/longueur des coupes) (cf III.2.3.4.2).

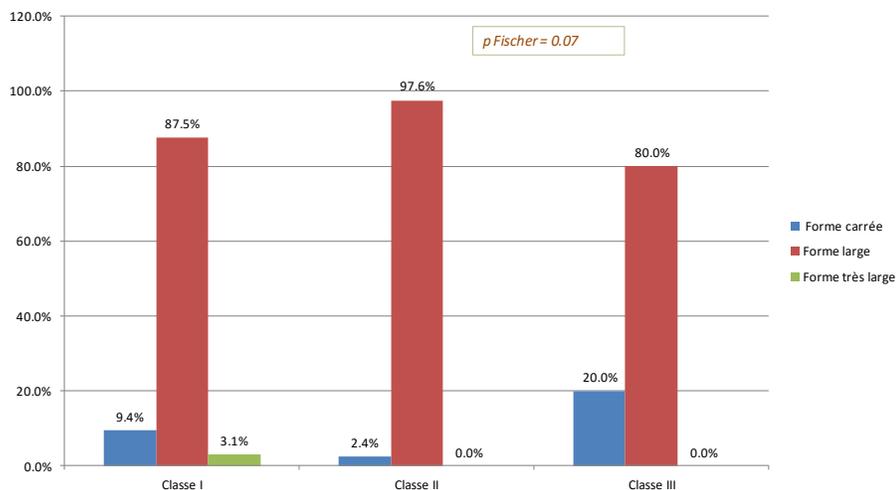


Figure IV. 18 : Fréquence des différentes formes de la coupe inférieure de l'oropharynx chez les sujets en classes I, II et III squelettiques.

Les études récentes qui comparent elles aussi les VAS tridimensionnellement montrent un oropharynx plus réduit (en volume, surface des coupes) pour les rétrognathies mandibulaires que pour les autres types faciaux (*e. g.* Dan Grauer *et al.* 2009, Kim *et al.* 2010, Hakal *et al.* 2011, Oh *et al.* 2011, Claudini *et al.* 2013, Zheng *et al.* 2014) ; cependant les différences ne sont pas toutes significatives. El *et al.* (2013), dans un échantillon de 101 sujets, comparent les groupes de classe II par rétromandibulies et classe III par prognathie mandibulaire : ces auteurs trouvent une seule différence significative, celle du volume de l'oropharynx plus petit dans les classes II par rétromandibulies que dans les classes I. Muto *et al.* (2007), signalent des corrélations positives entre les dimensions antéro-postérieures des VAS et la prognathie mandibulaire. Grauer *et al.* (2009) observent que la forme des VAS est plus inclinée antérieurement chez les classes II et plus verticale chez les classes III.

Quant à la position de l'os hyoïde, les études n'obtiennent pas de différences significatives entre les types faciaux sagittaux (Sosa *et al.* 1982, Adamidis et Spyropoulos 1992, Ceylan 1995). Charron (1976), en évaluant les corrélations entre la lumière pharyngée et la distance hyoïdo-vertébrale, trouve une liaison positive entre ces deux paramètres mais cette liaison ne varie pas en fonction du type d'occlusion.

L'évaluation de l'influence des types faciaux sagittaux sur l'ensemble de l'os hyoïde et des VAS nécessite encore d'autres analyses, en contrôlant des facteurs interférents lors des comparaisons de groupes de types faciaux bien différenciés.

En résumé, les résultats obtenus montrent le rôle déterminant de la profondeur faciale inférieure sur la position sagittale de l'os hyoïde et sur la longueur antéro-postérieure des VAS. Sa réduction s'accompagne en effet d'une position plus reculée de l'os hyoïde et d'une longueur réduite des VAS. Cette réduction antéro-postérieure des VAS est associée à une augmentation de leur largeur que l'on peut attribuer à la nécessité de leur maintenir un calibre suffisant. Ce mécanisme de compensation semble variable selon les sujets comme le prouvent les résultats divergents des études.

3.2. Incidence de la typologie faciale verticale

Nous avons vu dans la partie discussion des relations VAS-position de l'os hyoïde (*cf* IV.2.3), que les adaptations positionnelles de l'os hyoïde se font dans le sens vertical de façon plus importante. On peut s'attendre alors à ce que la position de l'os hyoïde ainsi que les dimensions des VAS varient dans les différents types verticaux de la face : face moyenne (mésodivergent), longue (hyperdivergent) ou courte (hypodivergent).

En effet, les coefficients de corrélation démontrent un lien étroit principalement pour la hauteur des VAS avec la hauteur faciale (*cf* Tableau III.92) et surtout un lien fort ($r > 0.6, 0.7$) entre la position verticale de l'os hyoïde et la divergence faciale (*cf* Tableau III.95). Les sujets hyperdivergents ont des VAS proportionnellement plus hautes et des positions plus basses de

l'os hyoïde. Les types hypodivergents ont les hauteurs des VAS les plus courtes. Les dimensions de l'os hyoïde ne sont pas différentes entre les types faciaux verticaux (cf Tableau III.93).

Une observation importante pour les dimensions verticales concerne la différence de posture cervicale entre les trois types faciaux méso-, hypo- et hyper-divergents : l'angle entre la deuxième vertèbre cervicale et la base du crâne est significativement plus grand chez les hyperdivergents que dans les deux autres types. L'orientation des grandes cornes de l'os hyoïde semble suivre la divergence faciale, l'angle entre les grandes cornes et le plan vertical perpendiculaire au plan Francfort est plus grand chez les hyperdivergents sans atteindre le seuil de significativité (cf Tableau III.94).

Ces différences et ces corrélations dessinent également deux schémas entre les types faciaux hypo- et hyper-divergents (Figure IV.19):

Type hypodivergent	Type hyperdivergent
+ Hauteurs faciales plus courtes + Hauteur totale des VAS, hauteur de l'oropharynx petites ; VAS plus larges transversalement + Os hyoïde en position haute	+ Hauteurs faciales plus longues + Hauteur totale des VAS, hauteur de l'oropharynx plus grandes + Os hyoïde plus bas et postérieur

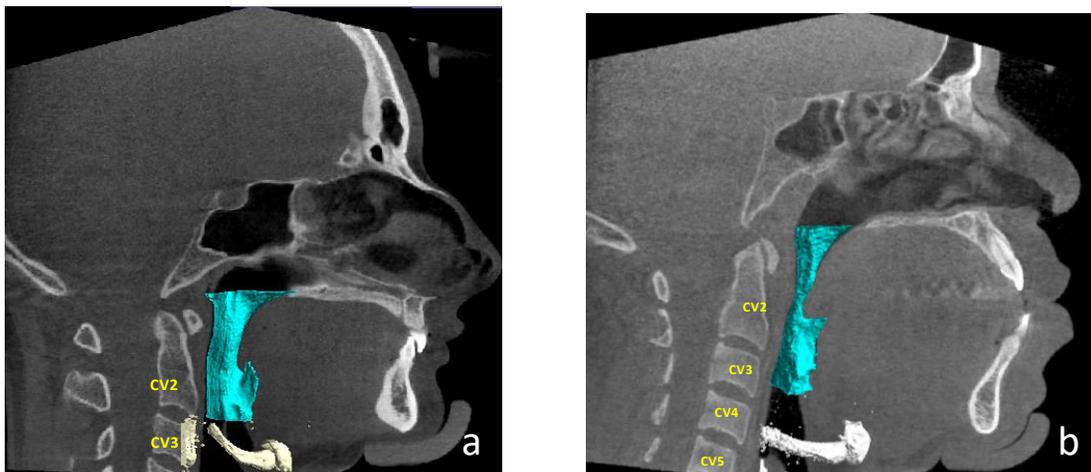


Figure IV. 19 : VAS et os hyoïde chez l' hypodivergent (a) et l'hyperdivergent (b)

Nos résultats concordent avec la plupart des études sur les variations positionnelles de l'os hyoïde en fonction de la divergence faciale, mais diffèrent partiellement avec quelques-unes sur les variations de taille et de forme des VAS.

- Pour la position de l'os hyoïde, la position plus basse et plus postérieure chez les hyperdivergents que nous observons (Figure IV.20) est également rapportée par d'autres auteurs (Erdinc *et al.* 2003, Pea *et al.* 2008). En revanche, Doual *et al.* (2003) trouvent que

la position de l'os hyoïde par rapport au plan de Francfort est fixe dans la dimension verticale, tandis que l'orientation des grandes cornes de l'os hyoïde suit la divergence faciale.

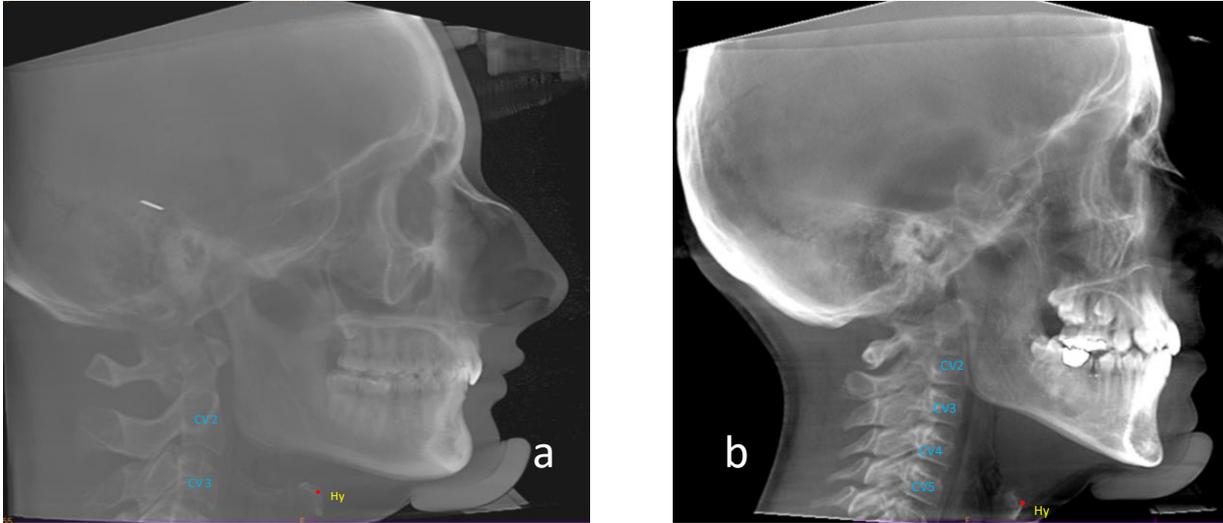


Figure IV. 20 : Position de l'os hyoïde chez l'hypodivergent (a) et l'hyperdivergent (b)

- Pour les VAS, notre étude ne détecte pas de différence significative de volume entre les types faciaux verticaux chez les adultes et met en évidence un volume d'oropharynx plus important chez les enfants de type hyperdivergent ; à l'opposé l'étude de Celikoglu *et al.* (2014) observe un volume de l'oropharynx plus grand chez les hypodivergents. Concernant la forme des VAS, nous constatons que les rapports largeur/longueur des coupes, la fréquence des formes carrées ou larges latéralement, ne sont pas significativement différents chez les sujets méso-, hypo- ou hyper-divergents. Nous remarquons cependant une tendance à la présence de formes plus larges latéralement chez les hypodivergents (sans significativité), comme dans le cas de la coupe intermédiaire où une forme large latéralement est observée chez tous les sujets hypodivergents, tandis qu'elle n'est présente que pour 78.6 % des hyperdivergents (Figure IV.21).
- Les résultats des études antérieures concernant la forme des VAS sont contradictoires : Wang *et al.* (2014) décrivent une forme plus longue et plus étroite dans les classes II hyperdivergentes, tandis que Haskell *et al.* (2013) rapportent une forme plus elliptique (large latéralement) chez les sujets hyperdivergents. Ces derniers auteurs expliquent en plus que cette forme large latéralement est plus résistante à la collapse ventilatoire et selon eux, la forme plus ronde de l'oropharynx dans les rétrognathies mandibulaires devrait être dépistée et corrigée au plus tôt pour prévenir les problèmes ventilatoires.

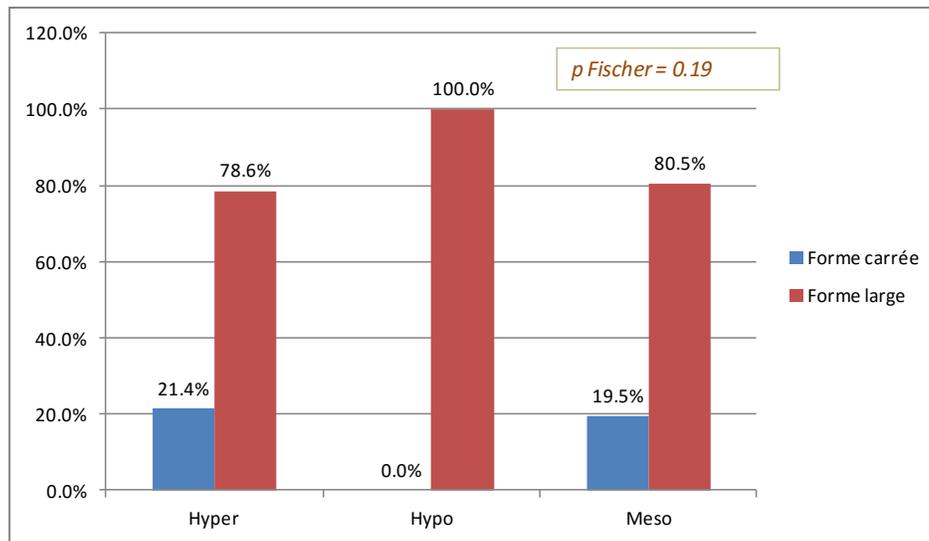


Figure IV. 21 : Pourcentage des formes carrées et larges chez les sujets normodivergents, hypodivergents et hyperdivergents

Dans le sens vertical, si les résultats concernant l'os hyoïde confirment les liaisons déjà mises en évidence, ceux concernant les VAS sont plus difficiles à interpréter. En effet, l'absence de liaison étroite entre types verticaux et morphologie des VAS est surprenante compte tenu de l'impact reconnu de la ventilation sur le développement vertical cranio-facial. Les différents mécanismes impliqués dans le maintien de la perméabilité des VAS doivent interférer sur ces corrélations et nécessitent donc l'étude indépendante de chacun de ces facteurs.

Dans notre étude, les corrélations entre les dimensions faciales transversales et les largeurs des VAS également recherchées ne sont pas significatives, à l'exception de celle intéressant la largeur de l'os hyoïde et la largeur bi-goniale ($p < 0.05$), mais son coefficient reste faible. Haskell *et al.* (2013) trouvent une corrélation positive entre la largeur de l'os hyoïde et la largeur des VAS.

Comme nous avons déjà évoqué dans la typologie sagittale, les influences de la typologie verticale sur l'ensemble des paramètres de l'os hyoïde et des VAS doivent être idéalement évaluées en contrôlant les facteurs interférant telles que les influences possibles des types sagittaux, les variations en fonction du sexe ou de l'âge. Les protocoles comme celui de Wang (2014), comparant les différents types verticaux chez les sujets de classe II, ou ceux de Celikoglu *et al.* (2014), comparant les types méso, hypo et hyperdivergents chez des sujets de en classe I, sont à privilégier. Le facteur âge a été évalué par Pea *et al.* (2008) qui ont remarqué que les sujets

à face courte gardent une position de l'os hyoïde stable avec l'âge, contrairement aux modifications observées chez les méso- et hyper-divergents.

L'état de la fonction ventilatoire est aussi un facteur intervenant sur la différence entre les types faciaux. En fait, c'est un facteur difficile à différencier entre cause et conséquence. Il est décrit comme cause dans des études sur la croissance maxillo-faciale, rapportant une morphologie cranio-faciale des sujets ventilateurs oraux (Ricketts 1968, Linder-Aronson 1969,1970, Bluestone 1979, Mc Namara 1981). Les études récentes de morphologie crânio-faciales chez les sujets SAOS décrivent souvent une augmentation de hauteur inférieure de la face, une posture cervicale en extension (*e.g.* Albajalan *et al.* 2010 ; Vieira *et al.* 2011). Ces morphologies s'accompagnent souvent d'un oropharynx plus étroit (Albajalan *et al.* 2010, Alves *et al.* 2011), une position de l'os hyoïde plus basse et postérieure (Albajalan *et al.* 2010), ou plus basse et antérieure (Vieira *et al.* 2011). D'autres auteurs, recherchant des facteurs crânio-faciaux prédisposant au SAOS, trouvent des morphologies communes telles que la rétrognathie mandibulaire, la position inférieure de l'os hyoïde (Lyberg *et al.* 1989, Tangugsorn *et al.* 1995, Bharadwaj *et al.* 2011, Laxmi *et al.* 2015).

La ventilation ne peut être évaluée seulement par la dimension anatomique, des évaluations dynamiques des VAS (flux aérien, résistance ventilatoire) doivent être associées pour bien définir l'impact de la ventilation sur la morphologie crânio-faciale et vice-versa. C'est ce qu'ont démontré Iwasaki *et al.* (2011), en comparant deux groupes hypo- et hyper-divergents : selon eux la taille des VAS n'est pas significativement différente entre ces deux groupes mais la pression maximale simulée est plus grande chez les hyperdivergents.

En résumé notre analyse démontre, d'une part l'influence des dimensions faciales sagittales et verticales sur l'os hyoïde (ses dimensions et sa position) et les VAS (leurs dimensions et morphologies), d'autre part des interactions complexes entre ces structures. L'interprétation de ces influences réciproques doit être prudente et nécessitera des recherches complémentaires.

CONCLUSIONS et PERSPECTIVES

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce travail de thèse a été entrepris avec la volonté de réaliser une étude intégrée de l'os hyoïde chez le vivant. Les variations affectant les dimensions et la forme de l'os ont été analysées à partir de CBCT et mises en relation avec différents paramètres biologiques (âge, sexe, population). Nous avons confronté les données métriques et morphologiques de deux échantillons de populations distantes géographiquement à celles de la littérature. La position de l'os hyoïde, ses relations avec les voies aériennes supérieures, et l'incidence de la typologie faciale, ont constitué un autre champ d'investigation.

La composition de nos échantillons regroupant enfants et adultes a permis tout d'abord de développer une perspective auxologique. Nous avons ainsi mis en évidence pour la première fois l'absence de dimorphisme sexuel de taille de l'os hyoïde entre garçons et filles. Il a été également possible d'identifier une différence d'évolution dimensionnelle entre les filles et les garçons, tant au niveau de l'amplitude de la modification (significativement plus importante chez les garçons) que du moment de sa manifestation au cours de la croissance.

- La longueur totale de l'os hyoïde augmente principalement durant la période de 7 à 16 ans, avec une amplitude significativement plus importante chez les garçons.
- La différence d'évolution de la largeur totale apparaît dans la période post-pubertaire (après 16 ans) où son augmentation se poursuit chez les garçons tandis que cette dimension reste stable chez les filles.
- L'évolution de la longueur antérieure démontre un remodelage plus important et plus précoce du corps de l'os hyoïde chez les garçons.

L'existence d'une croissance différentielle de l'os hyoïde selon le sexe se trouve ainsi pour la première fois documentée. Les modifications de l'os hyoïde durant la croissance, très différentes en terme d'amplitude et de chronologie entre filles et garçons est une conclusion importante et inédite de notre étude. Pour renforcer les observations concernant cette croissance différentielle, il serait important d'augmenter l'effectif de chaque classe d'âge pour alimenter cette étude transversale, une étude tridimensionnelle prospective n'étant pas envisageable pour des raisons éthiques. Des échantillons plus homogènes pour chaque tranche d'âge, de la petite enfance à l'adolescence et à l'âge adulte permettraient d'établir une courbe de croissance pour l'os hyoïde.

À partir de l'âge adulte, les modifications des dimensions de l'os hyoïde sont liées partiellement à la fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde, phénomène observé au cours de la maturité et du vieillissement. Au cours de notre étude, nous avons pu confirmer que

ce processus biologique ne présente aucune loi prédictive. La fusion apparaît en principe à des âges avancés mais elle peut être présente dès l'âge de 20 ans tout comme l'os peut rester non fusionné à l'âge de 60 ans. Les facteurs influençant la fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde restent inconnus. Aucune différence significative de l'âge de fusion n'est observée entre hommes et femmes.

Chez les adultes, nous avons par ailleurs pu confirmer l'existence d'un dimorphisme sexuel de taille avec toutes les dimensions significativement plus grandes chez les hommes. En revanche les fonctions discriminantes utilisant ces dimensions ne permettent pas de dépasser un taux de diagnose sexuelle correcte allant de 75 % pour les hommes à 88 % pour les femmes; ces taux demeurent donc en dessous de ceux obtenus à partir de l'os coxal et considérés classiquement comme performants pour une diagnose du sexe.

Des modifications significatives de forme de l'os hyoïde de l'enfant à l'adulte sont observées, avec une forme plus divergente et plus longue chez les adultes, résultat d'une augmentation plus importante de la longueur que de la largeur. La forme de l'os hyoïde ne présente pas de différence entre les deux sexes, que ce soit chez les enfants ou chez les adultes. L'inclinaison des grandes cornes par rapport au plan vertical ne diffère pas quant à elle selon le sexe, mais elle peut être différente selon le côté. Cependant l'analyse à partir de cinq variables métriques décrivant la forme de l'os hyoïde montre que l'asymétrie de longueur des grandes cornes ne concerne que 6 % de l'échantillon étudié, contrairement à des taux plus élevés rapportés dans la littérature.

L'étude de la position de l'os hyoïde, à la fois verticale et horizontale, analysée sur les téléradiographies de profil révèle, elle aussi, un dimorphisme sexuel chez les adultes. Dans le sens horizontal, chez les adultes masculins, l'os hyoïde est plus antérieur par rapport à l'angle mandibulaire, à la colonne vertébrale ou au plan Po, cependant ces différences ne sont statistiquement significatives que pour la distance avec la vertèbre. Dans le sens vertical, la position de l'os hyoïde est significativement plus basse par rapport à la base du crâne, le plan de Francfort et le maxillaire chez les hommes. Si l'évolution de l'enfant à l'adulte fait descendre l'os hyoïde à une position plus basse et plus antérieure chez les hommes, le rapport vertical os hyoïde-mandibule est, en revanche assez stable au cours de la croissance, suggérant leur déplacement commun durant cette période.

Nous avons confronté constamment au cours de notre étude les données métriques et morphologiques de l'échantillon français à celui de la série vietnamienne. Les observations que nous avons recueillies établissent qu'en termes de dimensions, il n'y a pas de différences entre les enfants des deux séries ; en revanche les os hyoïdes des adultes européens sont plus larges

et plus courts, surtout chez les femmes. Pour l'interprétation de ces différences, il est possible d'envisager les différences de stature corporelle, de dimensions faciales ou celles intéressant les fonctions phonatoires dans chaque population.

Les données que nous avons recueillies pour les deux échantillons français et vietnamien nous ont amené à faire des comparaisons avec les résultats publiés pour d'autres populations, européennes ou asiatiques. Une des difficultés rencontrées a concerné les différences de traitement des séries, dont ont résulté à la fois la mise en évidence de résultats parfois discordants d'une étude à l'autre et la faiblesse des données de comparaison utilisables.

Au terme de ce travail, une nouvelle classification de la morphologie de l'os hyoïde est proposée, privilégiant deux critères métriques qui sont le rapport largeur antérieure / largeur postérieure et le rapport largeur / longueur. Le premier rapport distingue les formes en U et en V, le second précise le caractère étroit, moyen ou large de l'os. Ainsi, 6 formes de base de l'os hyoïde : U étroit, U moyen, U large, V étroit, V moyen, V large peuvent être différenciées facilement. En appliquant cette classification, on constate que la forme en V prédomine chez les adultes étudiés tandis que chez les enfants, la forme en U est la plus fréquente.

Des différences très significatives sont observées entre les deux populations. Chez les enfants français, la forme en U est plus fréquente tandis que la forme en V l'est chez les vietnamiens. Chez les adultes, la fréquence des formes en U ou en V n'est pas significativement différente. Les différences des modifications dimensionnelles au cours de la croissance entre populations expliquent cette absence de différence de forme chez les adultes. En effet, l'augmentation plus importante de la largeur totale chez les sujets français (spécialement chez les femmes) modifie les rapports respectifs entre largeur et longueur, largeurs antérieures et totales, rendant la forme des os hyoïdes plus divergente effaçant ainsi la différence de forme initialement observée chez les enfants.

La définition de ces 6 catégories de morphologie de l'os hyoïde proposée dans ce travail peut être utilisée pour décrire des os hyoïdes issus de sites archéologiques, elle permet une appréciation plus claire de l'échantillon ainsi qu'une comparaison plus aisée entre des os issus de périodes et/ou d'origines différentes.

Cependant, cette classification semble encore insuffisante pour décrire les modifications de l'os hyoïde et particulièrement de son corps au cours de la croissance et pour comparer ces phénomènes chez les garçons et les filles et entre populations. Le recours à une approche morphométrique que nous n'avons pas pu mener dans le cadre de cette thèse, semble particulièrement à privilégier à ce niveau. Cette approche morphométrique permettra d'apprécier la forme du corps et de la partie antérieure de l'os hyoïde ; de préciser les modifications de forme de l'enfant à l'adulte observées dans cette étude (forme plus divergente chez les adultes) et de préciser les modifications au cours de la maturité et du vieillissement. Elle

permettra d'affiner la classification proposée dans notre travail en développant grâce à ces nouveaux critères des sous-classes. De même l'approche morphométrique conjointe de l'os hyoïde et de la mandibule pourra permettre de préciser les hypothèses émises sur la relation hyo-mandibulaire.

Le deuxième volet de notre étude concernait les relations de l'os hyoïde et des VAS. L'étude 3D des VAS a démontré l'importance de la connaissance de la dimension transversale des VAS pour une évaluation précise de leur perméabilité. L'existence d'un élargissement transversal en cas de réduction antéro-postérieure mise en évidence dans notre étude confirme la nécessité d'une imagerie 3D.

L'analyse conjointe des dimensions de l'os hyoïde et de l'oropharynx souligne la présence de relations étroites entre ces deux structures. Celles-ci se manifestent par des corrélations significatives positives entre les dimensions de l'os hyoïde et celles de la coupe inférieure de l'oropharynx. De plus, ces structures présentent une similitude d'évolution avec l'âge avec une croissance plus importante chez les individus masculins à l'âge post-pubertaire.

Bien qu'il soit difficile à partir de cette étude morphologique d'établir des liens fonctionnels, l'observation d'une position plus basse de l'os hyoïde en cas de perméabilité réduite de l'oropharynx laisse supposer une adaptation de ces structures liée aux impératifs ventilatoires. De même, l'observation d'une augmentation dimensionnelle de ces deux structures particulièrement importante chez les garçons à l'âge pubertaire suggère un lien avec la modification de la voix observée au même âge. De la même façon, les écarts de prononciation des sons entre différentes langues pourraient aider à préciser ce lien.

Sur le plan thérapeutique les corrélations dimensionnelles observées entre l'os hyoïde et des VAS pourraient conforter l'utilisation d'une expansion de l'os hyoïde pour d'élargir les VAS dans le traitement des SAOS proposée par certains auteurs (Toh *et al.* 2013, Hamans *et al.* 2013). Ces études doivent être poursuivies pour évaluer cette option thérapeutique.

Un dernier volet de notre travail concerne l'analyse de l'incidence de la typologie faciale sur les caractéristiques de l'os hyoïde et des VAS. Cette influence est marquée dans le sens vertical où on observe chez les sujets hyperdivergents des hauteurs faciales et des hauteurs des VAS plus grandes, un os hyoïde en position plus basse et postérieure, à l'opposé des hypodivergents.

Les liaisons significatives dans le sens sagittal sont moins fréquentes mais on constate, surtout chez les enfants, un lien entre, d'une part, les dimensions antéro-postérieures de l'os hyoïde et des VAS, et, d'autre part, celles de la face. En effet, les dimensions faciales sagittales plus courtes chez des sujets en classe II squelettique sont associées à des VAS aplaties transversalement et à une position plus postérieure de l'os hyoïde.

La relation entre les types faciaux et les paramètres des VAS et de l'os hyoïde est due à des interactions fonctionnelles complexes à interpréter. Il est classiquement admis qu'un trouble de la fonction ventilatoire pendant la période de croissance induit un type facial hyperdivergent avec une position plus basse et plus postérieure de l'os hyoïde. La rétrognathie mandibulaire associée à une position inférieure de l'os hyoïde est une caractéristique morphologique prédisposant au syndrome d'apnée obstructive du sommeil.

Les différentes corrélations mises en évidence laissent espérer une possible utilisation des caractéristiques dimensionnelles et positionnelles de l'os hyoïde dans le dépistage des risques de SAOS des modifications dimensionnelles au cours de la croissance

BIBLIOGRAPHIE

1. **Abdelkarim A. (2012)** - Myths and facts of cone beam computed tomography in orthodontics. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, 1(1) : 3-8.
2. **Aboudara C.A, Nielsen I., Huang J.C., Maki K., Miller A.J., Hatcher D. (2009)** - Comparison of airway space with conventional lateral headfilms and 3-dimensional reconstruction from cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 135 : 468-479.
3. **Abramson Z., Susarla S., Troulis M., Kaban L. (2009)** - Age-related changes of the upper airway assessed by 3-dimensional computed tomography. *J Craniofac Surg*, 20 (Suppl 1) : 657-663.
4. **Achilleos S., Krogstad O., Lyberg T. (2000a)** - Surgical mandibular advancement and changes in uvuloglossopharyngeal morphology and head posture : a short- and long-term cephalometric study in males. *Eur J Orthod*, 22(4) : 367-381.
5. **Achilleos S., Krogstad O., Lyberg T. (2000 b)** - Surgical mandibular setback and changes in uvuloglossopharyngeal morphology and head posture : a short- and long-term cephalometric study in males. *Eur J Orthod*, 22(4) : 383-394.
6. **Adamidis I.P., Spyropoulos M.N. (1992)** - Hyoid bone position and orientation in Class I and Class III malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 101(4) : 308-312.
7. **Adams G.L, Gansky S.A, Miller A.J. (2004)** - Comparison between traditional 2-dimensional cephalometry and a 3-dimensional approach on human dry skulls. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 126(4) : 397-409.
8. **Alemseged Z., Spoor F., Kimbel W.H, Bobe R., Geraads D., Reed D., Wynn J.G. (2006)** - A juvenile early hominin skeleton from Dikika, Ethiopia. *Nature*, 443 : 296-301.
9. **Almeida F.R., Lowe A.A., Sung J.O., Tsuiki S., Otsuka R. (2006)** - Long-term sequelae of oral appliance therapy in obstructive sleep apnea patients : Part 1. Cephalometric analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 129(2) : 195-204.
10. **Al-Moraissi E.A., Al-Magaleh S.M., Iskandar R.A., Al-Hendi E.A. (2015)** - Impact on the pharyngeal airway space of different orthognathic procedures for the prognathic mandible. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 44(9) : 1110-1118.

11. **Alves M.Jr., Franzotti E.S., Baratieri C., Nunes L.K, Nojima L.I, Ruellas A.C. (2012)** - Evaluation of pharyngeal airway space among different skeletal patterns. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 41(7) : 814-819.
12. **Alves M.Jr., Baratieri C., Nojima L.I., Nojima M.C., Ruellas A.C. (2011)** - Three-dimensional assessment of pharyngeal airway in nasal- and mouth-breathing children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 75(9) : 1195-1199.
13. **Alves M.Jr., Baratieri C., Mattos C.T., Brunetto D., Fontes Rda.C., Santos J.R., Ruellas A.C. (2012)** - Is the airway volume being correctly analyzed? *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 141(5) : 657-661.
14. **Alsufyani N.A, Flores-Mir.C., Major P.W. (2012)** - Three-dimensional segmentation of the upper airway using cone beam CT : a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol*, 41(4) : 276-284.
15. **Amatoury J., Kairaitis K., Wheatley J.R., Bilston L.E, Amis T.C. (2015)** - Peripharyngeal tissue deformation, stress distributions, and hyoid bone movement in response to mandibular advancement. *J Appl Physiol*, 118(3) : 282-291.
16. **Andersson L., Brattström V. (1991)** - Cephalometric analysis of permanently snoring patients with and without obstructive sleep apnea syndrome. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 20(3) : 159-162.
17. **D'Anastasio R., Viciano J., Di Nicola M., Cesana D.T., Sciubba M., Del Cimmuto M., Paolucci A., Fazio A., Capassol L. (2014)** - Estimation of sexe from the hyoid body in skeletal individuals from archeological sites. *Homo*, 65 (4) : 311-321.
18. **Arai Y., Tammisalo E., Iwai K., Hashimoto K., Shinoda K. (1999)** - Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol*, 28 : 245–248.
19. **Arensburg B., Tillier A.M., Vandermeersch B., Duda H., Schepartz L.A., Rak Y. (1989)** - A Middle Palaeolithic human hyoid bone. *Nature*, 338 : 758-760.
20. **Arensburg B., Schepartz L.A., Tillier A.M., Vandermeersch B., Rak Y. (1990)** - A reappraisal of the anatomical basis for speech in Middle Palaeolithic hominids. *Am J Phys Anthropol*, 83 : 137-146.

21. **Armstrong J.J., Leigh M.S., Sampson D.D., Walsh J.H., Hillman D.R., Eastwood P.R. (2006)** - Quantitative upper airway imaging with anatomic optical coherence tomography. *Am J Respir Crit Care Med*, 173 : 226–233.
22. **Augier M. (1931)** - Squelette céphalique, *In* : Poirier P. et Charpy A. *Traité d'anatomie humaine. I. Squelette céphalique*, 4^e éd., Paris, Masson
23. **Aydemir H., Memikoğlu U., Karasu H. (2012)** - Pharyngeal airway space, hyoid bone position and head posture after orthognathic surgery in Class III patients. *Angle Orthod*, 82(6) : 993-1000.
24. **Ballard C.F. (1951)** - Recent work in North America as it affects orthodontic diagnosis and treatment. *Dent Rec* : 71-85.
25. **Ballrick J.W., Palomo J.M., Ruch E., Amberman B.D, Hans M.G. (2008)** - Image distortion and spatial resolution of a commercially available cone-beam computed tomography machine. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 134(4) : 573-582.
26. **Balseven-Odabasi A., Yalcinozan E., Keten A., Akçan R., Tumer AR., Onan A., Canturk N., Odabasi O., Hakan Dinc A. (2013)** - Age and sex estimation by metric measurements and fusion of hyoid bone in a Turkish population. *J Forensic Leg Med*, 20(5) : 496-501.
27. **Bartolucci M.L., Bortolotti F., Raffaelli E., D'Antò V., Michelotti A., Alessandri Bonetti G. (2016)** - The effectiveness of different mandibular advancement amounts in OSA patients : a systematic review and meta-regression analysis. *Sleep Breath*, 20(3) : 911-919
28. **Battagel J.M., Johal A., L'Estrange P.R, Croft C.B., Kotecha B. (1999)** - Changes in airway and hyoid position in response to mandibular protrusion in subjects with obstructive sleep apnoea. *Eur J Orthod*, 21 : 363-376.
29. **Beautemps D., Badin P., Bailly G. (2001)** - Linear degrees of freedom in speech production: analysis of cineradio- and labio-film data and articulatory-acoustic modeling. *J Acoust Soc Am*, 109 (5 Pt 1) : 2165-2180.
30. **Behlfelt. (1990)** - Enlarged tonsils and the effect of tonsillectomy. Characteristics of the dentition and facial skeleton. Posture of the head, hyoid bone and tongue. Mode of breathing. *Swed Dent J Suppl*, 72 : 1-35.

31. **Behlfelt K., Linder-Aronson S., Neander P. (1990)** - Posture of the head, the hyoid bone, and the tongue in children with and without enlarged tonsils. *Eur J Orthod*, 12(4) : 458-467.
32. **Bench R.W. (1963)** - Growth of the cervical vertebrae as related to tongue, face and denture behavior. *Am J Orthod*, 49 : 183-214.
33. **Béquain et al. (1989)** - La dimension verticale en orthopédie dentofaciale. *Orthod Fr*, 60 : 121-155.
34. **Bharadwaj R., Ravikumar A., Krishnaswamy N.R. (2011)** - Evaluation of craniofacial morphology in patients with obstructive sleep apnea using lateral cephalometry and dynamic MRI. *Indian J Dent Res*, 22(6) : 739-748.
35. **Bhattacharyya N., Blake S.P., Fried M.P. (2000)** - Assessment of the airway in obstructive sleep apnea syndrome with 3 dimensional airway computed tomography. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 123 : 444-449.
36. **Bibby R.E. (1979)** - A cephalometric study of sexual dimorphism. *Am J Orthod*, 76(3) : 256-259.
37. **Bibby R.E., Preston C.B. (1981)** - The Hyoid triangle. *Am J Orthod*, 80 (1) : 92-97.
38. **Bibby R.E., Dent M. (1984)** - The hyoid bone position in mouth breathers and tongue thrusters. *Am J Orthod*, 85(5) : 431-433.
39. **Bluestone C.D. (1979)** - In: Naso-Respiratory Function and Craniofacial Growth. In *J.A McNamara, Jr (ed) Monograph 9, Craniofacial Growth Series*, The University of Michigan, Ann Arbor : 251-272.
40. **Boeddinghaus R., Whyte A. (2008)** - Current concepts in maxillofacial imaging. *Eur J Radiol*, 66(3) : 396-418.
41. **Boë L.J., Granat J., Austesserre D., Perrier P., Peyre E. (2007)** - Variation et prédiction de la position de l'os hyoïde de l'homme moderne à Neandertal. *BiomHum et Anthropol*, 24 : 257-271.
42. **Boë L.J., Granat J., Heim J.L., Schwartz J.L., Badin P., Barbier G., Captier G., Serrurier A., Kielwasser N. (2011)** - Considérations ontogénétiques et phylogénétiques concernant l'origine de la parole. *Revue de Primatologie* : 2011-2013.

43. **Bookstein F., Schäfer K., Prossinger H., Seidler H., Fieder M., Stringer C., Weber G.W., Arsuaga J.L., Slice D.E., Rohlf F.J., Recheis W., Mariam A.J, Marcus L.F. (1999)** - Comparing frontal cranial profiles in archaic and modern homo by morphometric analysis. *Anat Rec*, 257(6) : 217-224.
44. **Bothorel A. (1975)** - Positions et mouvements de l'os hyoïde dans la chaîne parlée. Strasbourg, *Trav Inst Phon*, 7 : 80-132.
45. **Bowden M.T, Kezirian E.J, Utley D., Goode R.L. (2005)** - Outcomes of hyoid suspension for the treatment of obstructive sleep apnea. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 131(5) : 440-445.
46. **Boyer B., Marec E.L, Ait-Ameur A., Hauret L., Dion A.M, Arterii-Tehau C. (2003)** - Tomodensitométrie : principe, formation de l'image. *Encyclopédie médico-chirurgicale* 35-170-A-10.
47. **Brodie A.G. (1941)** - On the growth pattern of the human head. From the third month to the eighth year of life. *Am J Anat*, 68 (2) : 209-262.
48. **Brodie A.G. (1950)** - Anatomy and physiology of head and neck musculature. *Am J Orthod*, 36 (11) : 831-844
49. **Brown A.A, Scarfe W.C, Scheetz J.P, Silveira A.M, Farman A.G. (2009)** - Linear accuracy of cone beam CT derived 3D images. *Angle Orthod*, 79 : 150-157.
50. **Brůžek J. (2002)** - A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *Am J Phys Anthropol*, 117 : 157-168.
51. **Burr D.B. (1976)** - Neandertal vocal tract reconstructions: A critical appraisal. *J. Hum Evolut*, 5(3) : 285-290.
52. **Carlisle C., Siegel M.I. (1974)** - Some Problems in the Interpretation of Neanderthal Speech Capabilities : A Reply to Lieberman. *Am Anthropol*, 76 (2) : 319–322.
53. **Celikoglu M., Bayram M., Sekerci A.E., Buyuk S.K., Toy E. (1975)** - Comparison of pharyngeal airway volume among different vertical skeletal patterns : a cone-beam computed tomography study. *Angle Orthod*, 84(5) : 782-787.
54. **Ceylan I, Oktay H. (1995)** - A study on the pharyngeal size in different skeletal patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 108(1) : 69-75.

55. **Cha J.Y, Mah J., Sinclair P. (2007)** - Incidental findings in the maxillofacial area with 3-dimensional cone-beam imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 132(1) : 7-14.
56. **Chabolle F., Lachiver X., Fleury B., Marso-Dupuch K., Lacau St Guily. J., Meyer B., Chouard C.H. (1990)** - Physiopathologic value of cephalometric teleradiography study and magnetic resonance imaging in sleep apnea syndromes. Therapeutic deductions. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac*, 107(3) : 159-166.
57. **Charron C. (1960)** - Étude statistique de l'os hyoïde par la téléradiographie en position d'occlusion et de repos physiologique. *Orthod Fr*, 31 : 381-390.
58. **Charron C. (1976)** - Les variations antéro-postérieures de la largeur pharyngée et de la distance hyoïdo vertébrale en fonction de l'occlusion et de la dentition. *Orthod Fr*, 47 : 675-687.
59. **Chiang C.C., Jeffres M.N., Miller A., Hatcher D.C. (2012)** - Three dimensional airway evaluation in 387 subjects from one university orthodontic clinic using cone beam computed tomography. *Angle Orthod*, 82(6) : 985-992.
60. **Claudino L.V, Mattos C.T, Ruellas A.C, Sant' Anne E.F. (2013)** - Pharyngeal airway characterization in adolescents related to facial skeletal pattern: a preliminary study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 143(6) : 799-809.
61. **Cohnen M., Kemper J., Mobes O. (2002)** - Radiation dose in dental radiology. *Eur Radiol*, 12(3) : 634-637.
62. **Cole S.C. (1988)** - Natural head position, posture, and prognathism: the Chapman Prize Essay, 1986. *Br J Orthod*, 15(4) : 227-239.
63. **Coleman M.N., Colbert M.W. (2007)** - Technical note: CT thresholding protocols for taking measurements on three-dimensional models. *Am J Phys Anthropol*, 133(1) : 723-725.
64. **Colombo A. (2014)** - *La micro-architecture trabéculaire de l'os en croissance : variabilité tridimensionnelle normale et pathologique analysée par microtomodensitométrie*. Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, École doctorale Sciences de l'environnement (inédite).
65. **Cousminer D.L, Widén E., Palmert M.R. (2016)** - The genetics of pubertal timing in the general population: recent advances and evidence for sex-specificity. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes*, 23(1) : 57-65.

66. **Crétot M. (2000)** - Évolution de la position de l'os hyoïde dans une comparaison céphalométrique transversale de populations adultes, jeunes et âgées. *Rev Orthop Dento Faciale*, 34 : 405-415.
67. **Dastidar P., Heinonen T., Numminen J., Rautiainen M., Laasonen E. (1999)** - Semiautomatic segmentation of computed tomographic images in volumetric estimation of nasal airway. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 256 : 192-198.
68. **Delmas A., Senecail B. (1976)** - Données radio-anatomiques concernant l'os hyoïde et sa dynamique. *Bull Assoc Anat (Nancy)*, 60 : 809-820.
69. **Delmas A., Senecail B. (1977)** - Aspects biométriques de la mécanique hyoïdienne chez l'homme. *Bull Assoc Anat (Nancy)*, 61 : 189-198.
70. **Delmas A. (1979)** - Préface, In : Sénécail B, *L'Os Hyoïde. Introduction Anatomique à l'Étude de Certains Mécanismes de la Phonation*. Mémoires du Laboratoire d'Anatomie de la Faculté de Médecine de Paris.
71. **De Vos W., Casselman J., Swennen G.R. (2009)** - Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region : a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 38 : 609-625.
72. **De Souza K.R, Oltramari-Navarro P.V., Navarro R. de L., Conti A.C, Almeida M.R. (2013)** - Reliability of a method to conduct upper airway analysis in cone-beam computed tomography. *Braz Oral Res*, 27(1) : 48-54.
73. **Doual A., Léger J-L., Doual J-M., Hadjiat. (2003)** - L'os hyoïde et la dimension verticale *Orthod Fr*, 74 (3) : 333-363.
74. **Doual-Bisser A., Douai J.M., Crocquet M. (1989)** - Equilibre hyolingual et morphogénèse verticale de la face. *Orthod Fr*, 60 : 527-532.
75. **Durán-Cantolla J., Crovetto-Martínez R., Alkhraisat M.H., Crovetto M., Municio A., Kutz R., Aizpuru F., Miranda E., Anitua E. (2015)** - Efficacy of mandibular advancement device in the treatment of obstructive sleep apnea syndrome: A randomized controlled crossover clinical trial. *Med Oral Pathol Oral Chir Bucal*, 20(5) : 605-615.
76. **Durzo C.A., Brodie A.G. (1962)** - Growth behavior of the hyoïde bone. *Angle Orthod*, 32 : 193-204.

77. **D'Souza D.H., Harish S.S, Kiran J. (2010)** - Fusion in the hyoid bone: usefulness and implications. *Med Sci Law*, 50(4) : 197-199.
78. **D'Souza D.H, Kiran J., Harish S.S. (2013)** - Determination of Sex by Shape and Size of Hyoid Bone. *J Indian Acad Forensic Med*, 35 (2) : 145-147.
79. **Dutailly B., Coqueugniot H., Desparats P., Gueorguieva S., Synave R. (2009)** - 3D surface reconstructing using HMH algorithm. *Proceedings ICIP*, art. no. 5413911 : 2505-2508.
80. **Dutour O., Hublin J-J., Vandermeersch B. (2005)** - *Objets et Méthodes en Paléanthropologie*. Paris : éditions du CTHS.
81. **Eggensperger N., Smolka W., Lizuka T. (2005)** - Long term changes of hyoid bone position and pharyngeal airway size following mandibular setback by sagittal split ramus osteotomy. *J Craniomaxillofac Surg*, 33(2) : 111-117.
82. **Efendiyeva R., Aydemir H., Karasu H., Toygar-Memikoğlu U. (2014)** - Pharyngeal airway space, hyoid bone position, and head posture after bimaxillary orthognathic surgery in Class III patients: long-term evaluation. *Angle Orthod*, 84(5) : 773-781.
83. **El H., Palomo J.M. (2010)** - Measuring the airway in 3 dimensions: a reliability and accuracy study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 137(4 Suppl) : 51-59.
84. **El H., Palomo J.M. (2011)** - Airway volume for different dentofacial skeletal patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 139(6) : e511-521.
85. **El H., Palomo J.M. (2013)** - An airway study of different maxillary and mandibular sagittal positions. *Eur J Orthod*, 35(2) : 262-270.
86. **Ella B., Sonan K., Caix R. (2000)** - Ontogenèse de la migration cervicale de l'os hyoïde. *Rev Orthop Dento Faciale*, 34 : 437-455.
87. **Erdinc A.M., Dincer B., Sabah M.E. (2003)** - Evaluation of the position of the hyoid bone in relation to vertical facial development. *J Clin Pediatr Dent*, 27(4) : 347-352.
88. **Escoffier B., Pages J. (2008)** - *Analyses factorielles simples et multiples objectifs, méthodes et interprétation*. Paris, Dunod, 318p.
89. **Falk D. (1975)** - Comparative anatomy of the larynx in man and the chimpanzee: implications for language in Neanderthal. *Am J Phys Anthropol*, 43(1) : 123-132.

90. **Faure J., Casteigt J. (1999)** - Déplacements de l'os hyoïde et des tissus mous cervico-mentonniers après traitement orthodontico-chirurgical d'avancée mandibulaire. *Rev Orthop Dento Faciale*, 33 : 177-190.
91. **Faure J., Treil J., Borianne P., Casteigt J., Baron P. (2002)** - Céphalométrie tridimensionnelle en orthopédie dento-faciale. *Orthod Fr*, 73 : 19-37.
92. **Fitch W.T., Giedd J. (1999)** - Morphology and development of the human vocal tract: a study using magnetic resonance imaging. *J Acoust Soc Am*, 106(3 Pt 1) : 1511-1522.
93. **Fransson A.M., Tegelberg A., Svenson B.A., Lennartsson B., Isacsson G. (2002)** - Influence of mandibular protruding device on airway passages and dentofacial characteristics in obstructive sleep apnea and snoring. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 122(4) : 371-379.
94. **Fransson A. (2003)** - A mandibular protruding device in obstructive sleep apnea and snoring. *Swed Dent J Suppl*, (163) : 1-49.
95. **Freitas M.R., Alcazar N.M., Janson G., de Freitas K.M., Henriques J.F. (2006)** - Upper and lower pharyngeal airways in subjects with Class I and Class II malocclusions and different growth patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 130(6) : 742-745.
96. **Freyss G. (1976)** - Physiologie normale de la déglutition et de la phonation. *Acta Oto-Rhino-Laryng Belg*, 30(4) : 416-430.
97. **Gale A., Kilpeläinen P.V., Laine-Alava M.T. (2001)** - Hyoid bone position after surgical mandibular advancement. *Eur J Orthod*, 23(6) : 695-701.
98. **Genta P.R., Schorr F., Eckert D.J., Gebrim E., Kayamori F., Moriya H.T., Malhotra A., Lorenzi-Filho G. (2014)** - Upper airway collapsibility is associated with obesity and hyoid position. *Sleep*, 37(10) : 1673-1678.
99. **Ghoneima A., Kula K. (2013)** - Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography for airway volume analysis. *Eur J Orthod*, 35 (2) : 256-261.
100. **Gola R., Cheynet F., Guyot L., Richard O. (2005)** - Analyse céphalométrique fonctionnelle et esthétique de profil. *Encyclopédie Médico-chirurgicale*, 23 - 455 -E-22.
101. **Graber L.W. (1978)** - Hyoid changes following orthopedic treatment of mandibular prognathism. *Angle Orthod*, 48 : 33-38.

102. **Granat J., Peyre É., Boë L-J. (2006)** - Os Hyoïde et larynx chez Homo. Position estimée par la biometrie. *Biom Hum et Anthropol*, 24(3-4) : 243-255.
103. **Grassé P-P. (1954)** - *Traité de zoologie : Anatomie, Systématique, Biologie : Mammifères Splanchnologie* : Fascicule 5. Paris Masson.
104. **Grauer D., Cevidanes L.S, Proffit W.R (2009 a)** - Working with DICOM craniofacial images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 136 : 460-470.
105. **Grauer D., Cevidanes L.S., Styner M.A., Ackerman J.L., Proffit W.R. (2009b)** - Pharyngeal airway volume and shape from conebeam computed tomography: relationship to facial morphology. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 136 (6) : 805-814.
106. **Gribel B.F., Gribel M.N., Frazão D.C., McNamara J.A. Jr., Manzi F.R. (2011)** - Accuracy and reliability of craniometric measurements on lateral cephalometry and 3D measurements on CBCT scans. *Angle Orthod*, 81(1) : 26-35.
107. **Guijarro-Martínez R., Swennen G.R. (2011)** - Cone-beam computerized tomography imaging and analysis of the upper airway: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 40(11) : 1227-1237.
108. **Guilleminault C., Riley R., Powell N. (1984)** - Obstructive sleep apnea and abnormal cephalometric measurements. Implications for treatment. *Chest*, 86(5) : 793-794.
109. **Gungor A.Y., Türkkahraman H., Baykul T., Alkis H. (2012)** - Comparison of the effects of rapid maxillary expansion and surgically assisted rapid maxillary expansion in the sagittal, vertical, and transverse planes. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 17(2) : 311-319.
110. **Gupta A., Kohli A., Aggarwal N.K., Banerjee K.K. (2008)** - Study of age of fusion of hyoid bone. *Leg Med (Tokyo)*, 10(5) : 253-256.
111. **Guyomarc'h P. (2011)** - *Reconstitution faciale par imagerie 3d : variabilité morphométrique et mise en oeuvre informatique*. Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1, École doctorale Sciences de l'environnement (inédite).
112. **Guyomarc'h P., Santos F., Dutailly B., Desbarats P., Bou C., Coqueugniot H. (2012)** - Three-dimensional computer-assisted craniometrics: A comparison of the uncertainty in measurement induced by surface reconstruction performed by two computer programs. *Forensic Sci Int*, 219 : 221-227.

113. **Ha J.G., Min H.J., Ahn S.H., Kim C.H., Yoon J.H., Lee J.G., Cho H.J. (2013)** - The dimension of hyoid bone is independently associated with the severity of obstructive sleep apnea. *PLoS One*, 8(12) : e81590.
114. **Hamans E., Stuck B.A. de Vries N, Boudewyns A., Devolder A., Verbraecken J., Van de Heyning P. (2013)** - Hyoid expansion as a treatment for obstructive sleep apnea : a pilot study. *Sleep Breath*, 17(1) : 195-201.
115. **Handelman C.S., Osborne G. (1976)** - Growth of the nasopharynx and adenoid development from one to eighteen years. *Angle Orthod*, 46(3) : 243-259.
116. **Haralabakis N.B., Toutountzakis N.M., Yiagtzis S.C. (1993)** - The hyoid bone position in adult individuals with open bite and normal occlusion. *Eur J Orthod*, 15(4) : 265-71.
117. **Harding-Kaba M.B., Ferret C., Batifol D., Kamal D., Goudot .P, Yachouh J. (2008)** - Variation de la position de l'os hyoïde chez l'adulte dans les dysmorphies maxillo-mandibulaires et les dysfonctions de l'appareil manducateur. *International Orthodontics*, 6 : 199-207.
118. **Harjeet K., Synghal S., Kaur G., Aggarwal A., Wahee P. (2010)** - Time of fusion of greater cornu with body of hyoid bone in Northwest Indians. *Leg Med (Tokyo)*, 12(5) : 223-227.
119. **HAS, Haute Autorité de santé. (2009)** - Tomographie volumique à faisceau conique de la face [Cone beam computerized tomography] : <http://www.has-sante.fr>.
120. **Hashimoto K., Arai Y., Iwai K. (2003)** - A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with a multidetector row helical CT machine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 95(3) : 371-377.
121. **Haskell J.A., Haskell B.S., Spoon M.E., Feng C. (2013)** - The relationship of vertical skeletofacial morphology to oropharyngeal airway shape using cone beam computed tomography: possible implications for airway restriction. *Angle Orthod*, 84(3) : 548-554.
122. **Hassan B., Van der Stelt P., Sanderink G. (2009)** - Accuracy of three-dimensional measurements obtained from cone-beam computed tomography surface-rendered images for cephalometric analysis: influence of patient scanning position. *Eur J Orthod*, 31 : 139-134.

123. **Hassan B., Nijkamp P., Verheij H., Tairie J., Vink C., Stelt P-V D., Beek H. (2013)** - Precision of identifying cephalometric landmarks with cone beam computed tomography in vivo. *Eur J Orthod*, 35 (1) : 38-44.
124. **Heim J.L., Boë L.J., Maeda S. (2000)** - Essai de la détermination de la position du larynx à partir de repères craniométriques : Application à la paléontologie humaine. *Dans : L'identité humaine en question. Nouvelles problématiques et nouvelles technologies en Paléontologie humaine et en Paléonthropologie biologique*, Artcom, Paris.
125. **Hellsing E. (1989)** - Changes in the pharyngeal airway in relation to extension of the head. *Eur J Orthod*, 11 : 359-365.
126. **Hiimeae K.M., Palmer J.B., Medicis S.W., Hegener J., Jackson B.S., Lieberman D.E. (2002)** - Hyoid and tongue surface movements in speaking and eating. *Arch Oral Biol*, 47(1) : 11-27.
127. **Holberg C., Steinhäuser S., Geis P. (2005)** - Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations. *J Orofac Orthop*, 66(6) : 434-444.
128. **Hong J.S., Park Y.H., Kim Y.J., Hong S.M., Oh K.M. (2011)** - Three dimensional changes in pharyngeal airway in skeletal class III patients undergoing orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg*, 69(11): 401-408.
129. **Honda K., Hirai H., Dang J. (1994)** - A physiological model of speech production and the implication of tongue-larynx interaction. *Proceedings of the 3th International Conference on Spoken Language Processing ICSLP*, 2: 437-440.
130. **Hoole P., Kroos C. (1998)** - Control of larynx height in vowel production. *Proceedings of the 5th International Conference on Spoken Language Processing ICSLP*, 2 : 531-534.
131. **Hsieh Y.J., Liao Y.F. (2013)** - Effects of maxillomandibular advancement on the upper airway and surrounding structures in patients with obstructive sleep apnoea: a systematic review. *Br J Oral Maxillofac Surg*, 51(8) : 834-840.
132. **Huang Y.S., Guilleminault C. (2012)** - Pediatric obstructive sleep apnea and the critical role of oral-facial growth: evidences. *Front Neurol*, 3 : 184.
133. **Indriksone I., Jakobsone G. (2014)** - The upper airway dimensions in different sagittal craniofacial patterns: a systematic review. *Stomatologija*, 16(3) : 109-117.

134. **Inokuchi H., González-Fernández M., Matsuo K., Brodsky M.B., Yoda M., Taniguchi H., Okazaki H., Hiraoka T., Palmer J.B. (2015)** - Electromyography of Swallowing with Fine Wire Intramuscular Electrodes in Healthy Human: Amplitude Difference of Selected Hyoid Muscles. *Dysphagia*, 31(1) : 33-40.
135. **Ito K., Ando S., Akiba N., Watanabe Y., Okuyama Y., Moriguchi H., Yoshikawa K., Takahashi T., Shimada M. (2012)** - Morphological study of the human hyoid bone with three-dimensional CT images - Gender difference and age-related changes. *Okajimas Folia Anat Jpn*, 89(3): 83-92.
136. **Iwasaki T., Hayasaki H., Takemoto Y., Kanomi R., Yamasaki Y. (2009)** - Oropharyngeal airway in children with Class III malocclusion evaluated by cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 136(3) : 318 -319.
137. **Iwasaki T., Saitoh I., Takemoto Y., Inada E., Kanomi R., Hayasaki H., Yamasaki Y. (2011)** - Evaluation of upper airway obstruction in Class II children with fluid-mechanical simulation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 139(2) : 135-145.
138. **Izadi F., Salehi A. (2013)** - Comparison between palpatory findings of the hyoid position and their acoustic, videostroboscopic, and perceptual attributes in patients with muscle tension dysphonia (with and without organic lesions). *J Voice*, 27(1): 78-83.
139. **Jang H.J., Leigh J.H., Seo H.G., Han T.R., Oh B.M. (2015)** - Effortful swallow enhances vertical hyolaryngeal movement and prolongs duration after maximal excursion. *J Oral Rehabil*, 42(10): 765-773.
140. **Jelisiejew T., Jaroslaw S., Kuduk I. (1968)** - Morphologic studies on the hyoid bone in man. *Folia Morphol*, 27 : 172-182.
141. **Jiang Y.Y., Xu X., Su H.L., Liu D.X. (2015)** - Gender-related difference in the upper airway dimensions and hyoid bone position in Chinese Han children and adolescents aged 6-18 years using cone beam computed tomography. *Acta Odontol Scand*, 73(5) : 391-400.
142. **Jose N.P., Shetty S., Mogra S., Shetty V.S., Rangarajan S., Mary L. (2014)** - Evaluation of hyoid bone position and its correlation with pharyngeal airway space in different types of skeletal malocclusion. *Contemp Clin Dent*, 5(2) : 187-189.

143. **Katyal V., Pamula Y., Martin A.J., Daynes C.N., Kennedy J.D., Sampson W.J. (2013)** - Craniofacial and upper airway morphology in pediatric sleep-disordered breathing : Systematic review and meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 143(1) : 20-30.
144. **Kau C.H., Richmond S., Palomo J.M. (2005)** - Three-dimensional cone beam computerized tomography in orthodontics. *J Orthod*, 32(4) : 282-293.
145. **Kawashima S., Peltomäki T., Sakata H., Mori K., Happonen R.P., Rönning O. (2003)** - Absence of facial type differences among preschool children with sleep-related breathing disorder. *Acta Odontol Scand*, 61(2) : 65-71.
146. **Kharbanda O.P., Sidhu S.S., Sundrum K.R. (1991)** - Vertical proportions of face: a cephalometric study. *Int J Orthod*, 29(3-4) : 6-8.
147. **Kim D.I., Lee U.Y., Park D.K., Kim Y.S., Han K.H., Kim K.H., Han S.H. (2006)** - Morphometrics of the hyoid bone for human sex determination from digital photographs. *J Forensic Sci*, 51(5) : 979-984.
148. **Kim M.A., Kim B.R., Youn J.K., Kim Y.J., Park Y.H. (2014)** - Head posture and pharyngeal airway volume changes after bimaxillary surgery for mandibular prognathism. *J Craniomaxillofac Surg*, 42(5) : 531-535.
149. **Kim Y., McCullough G.H. (2008)** - Maximum hyoid displacement in normal swallowing. *Dysphagia*, 23(3) : 274-279.
150. **Kim Y.J., Hong J.S., Hwang Y.I., Park Y.H. (2010)** - Three-dimensional analysis of pharyngeal airway in preadolescent children with different anteroposterior skeletal patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 137(3) : 306 e1-11, discussion 306-307.
151. **King E.W. (1952)** - A roentgenographic study of pharyngeal growth. *Angle Orthod*, 22 : 23-37.
152. **Kindschuh S.C. (2009)** - *Determining sex and ancestry of the hyoid from the Robert J Terry anatomical collection*. Master Thesis, University of Central Florida
153. **Kindschuh S.C. (2010)** - Determination of Sex from the Hyoid Bone. *Am J Phys Anthropol*, 143(2): 279-284.
154. **Kindschuh S.C., Dupras T.L., Cowgill L.W. (2012)** - Exploring Ancestral Variation of the Hyoid. *J Forensic Sci*, 57(1) : 41-46.

155. **Kirkness J.P., Sowho M., Murano E. (2014)** - The interplay between tongue tissue volume, hyoid position, and airway patency. *Sleep*, 37(10) : 1585-1586.
156. **Klein J.C. (1986)** - Nasal respiratory function and craniofacial growth. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 112(8) : 843-849.
157. **Koebke J. (1978)** - Some observations on the development of the human hyoid bone. *Anat Embryol (Berl)*, 153(3) : 279-286.
158. **Koebke J., Saternus K.S. (1979)** - Morphology of the adult human hyoid bone. *Z Rechtsmed*, 84(1) : 7-18.
159. **Kollia I., Krogstad O. (1999)** - Adult craniocervical and pharyngeal changes- a longitudinal cephalometric study between 22-42 years of age. Part I : morphological craniocervical and hyoid bone changes. *Eur J Orthod*, 21 : 333-344.
160. **Kumar R., Sidhu S.S., Kharbanda O.P., Tandon D.A. (1995)** - Hyoid bone and atlas vertebra in established mouth breathers : a cephalometric study. *J Clin Pediatr Dent*, 19(3) : 191-194.
161. **Lafforgue E. (1984)** - *Variations de l'os hyoïde chez l'enfant en période pédiodontique. Etude par rapport au compas ptérygo-clivien*. Thèse Doct Sci Odontol. Lille, 1984.
162. **Lagravère M.O., Carey J., Toogood R.W., Major P.W. (2008)** - Three-dimensional accuracy of measurements made with software on cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 134(1) : 112-116.
163. **Laison F., Gaudy J.F. (1993)** - *Anatomie cranio-faciale*. Paris, Masson.
164. **Laitman J.T., Reidenberg J.S. (1993)** - Specializations of the human upper respiratory and upper digestive systems as seen through comparative and developmental anatomy. *Dysphagia*, 8(4) : 318-325.
165. **Lascala C.A., Panella J., Marques M.M. (2015)** - Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (CBCT-NewTom). *Dentomaxillofac Radiol*, 33(5) : 291-294.
166. **Lawrence I-Kuei Lin. (1989)** - A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 45 (1) : 255-268.

167. **Laxmi N.V., Talla H., Meesala D., Soujanya S., Naomi N., Poosa M. (2015)** - Importance of cephalographs in diagnosis of patients with sleep apnea. *Contemp Clin Dent*, 6(Suppl 1) : 221-226.
168. **Lee H.Y., Hong J.S., Lee K.C., Shin Y.K., Cho S.R. (2015)** - Changes in hyolaryngeal movement and swallowing function after neuromuscular electrical stimulation in patients with dysphagia. *Ann Rehabil Med*, 39(2) : 199-209.
169. **Lee J.J., Ramirez S.G., Will M.J. (1997)** - Gender and racial variations in cephalometric analysis. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 117(4) : 326-329.
170. **Lehamnn E. (1999)** - *Elements of Large Sample Theory*. Springer.
171. **Lekšan I, Marcikić M, Nikolić V, Radić R, Selthofer R. (2005)** - Morphological classification and sexual dimorphism of hyoid bone: new approach. *Coll Antropol*, 29(1) : 237-242.
172. **Le May M. (1975)** - The language capability of Neanderthal man. *Am J Phys Anthropol*, 42(1) : 9-14.
173. **Lenza M.G., Lenza M.M., Dalstra M., Melsen B., Cattaneo P.M. (2010)** - An analysis of different approaches to the assessment of upper airway morphology: a CBCT study. *Orthod Craniofac Res*, 13 : 96-105.
174. **Lieberman P. (1984)** - *The biology and evolution of language*. Cambridge, Harvard University Press.
175. **Lieberman P., Crelin E.S. (1971)** - On the speech of the Neanderthal man. *Linguistic Inquiry*, 2 : 203-222.
176. **Lieberman P., Crelin E.S., Klatt D.H. (1972)** - Phonetic ability and related anatomy of the newborn and adult human, Neanderthal speech. *Linguistic Inquiry*, 5 : 144-150.
177. **Lieberman D.E., McCarthy R.C., Hiimae K.M., Palmer J.B. (2001)** - Ontogeny of postnatal hyoid and larynx descent in humans. *Arch Oral Biol*, 46(2) : 117-128.
178. **Lieberman P., McCarthy R. (2007)** - Tracking the evolution of language and speech. *Expedition, University of Pennsylvania Museum*, 49(2) : 15-20.
179. **Linder-Aronson S. (1970)** - Adenoids. Their effect on mode of breathing and nasal airflow and their relationship to characteristics of the facial skeleton and the dentition. A biometric,

- rhino-manometric and cephalometro-radiographic study on children with and without adenoids. *Acta Otolaryngol Suppl*, 265 : 1–132.
180. **Linder-Aronson S. (1979)** - Respiratory function in relation to facial morphology and the dentition. *Br J Orthod*, 6(2) : 59-71.
181. **Linder-Aronson S., Leighton B.C. (1983)** - A longitudinal study of the development of the posterior nasopharyngeal wall between 3 and 16 years of age. *Eur J Orthod*, 5(1) : 47-58.
182. **Lindman R., Bondemark L. (2001)** - A review of oral devices in the treatment of habitual snoring and obstructive sleep apnoea. *Swed Dent J*, 25(1) : 39-51.
183. **Loth A., Corny J., Santini L., Dahan L., Dessi P., Adalian P., Fakhry N. (2015)** - Analysis of Hyoid-Larynx Complex Using 3D Geometric Morphometrics. *Dysphagia*, 30(3) : 357-364.
184. **Lou L., Lagravère M.O., Compton S. (2007)** - Accuracy of measurements and reliability of landmark identification with computed tomography (CT) techniques in the maxillofacial area : a systematic review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 104(3) : 402-411.
185. **Loubele M., Maes F., Schutyser F. (2006)** - Assessment of bone segmentation quality of conebeam CT versus multislice spiral CT : a pilot study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 102(2) : 225-234.
186. **Lowell S.Y., Kelley R.T., Colton R.H., Smith P.B., Portnoy J.E. (2012)** - Position of the hyoid and larynx in people with muscle tension dysphonia. *Laryngoscope*, 122(2) : 370-377.
187. **Ludlow J.B., Brooks S.L., Davies-Ludlow L.E., Howerton B. (2006)** - Dosimetry of 3 CBCT units for oral and maxillofacial radiology : CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol*, 35 (4) : 219-226.
188. **Ludlow J.B., Ivanovic M. (2008)** - Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 106 (1) : 106-114.
189. **Lyberg T., Krogstad O., Djupesland G. (1989)** - Cephalometric analysis in patients with obstructive sleep apnoea syndrome. I. Skeletal morphology. *J Laryngol Otol*, 103(3) : 287-292.

190. **Macheneaud J-C. (1978)** - *Anatomie fonctionnelle de l'appareil hyoïdien. Étude par radiocinéma d'un cas d'ossification complète et bilatérale de l'appareil hyoïdien.* Thèse de Médecine. P/La.
191. **McNamara JA. (1981)** - Influence of Respiratory Pattern on Craniofacial Growth. *The Angle Orthod*, 51 (4) : 269-300.
192. **McNamara J.A., Kapila S., Ribbens K.A. (2006)** - *Digital radiography and three-dimensional imaging.* Ann Arbor, The University of Michigan.
193. **Mah J, Hatcher D. (2004)** - Three-dimensional craniofacial imaging. *AmJ Orthod Dentofacial Orthop*, 126(3) : 308-309.
194. **Malhotra A., Huang Y., Fogel R.B., Pillar G., Edwards J.K., Kikinis R., Loring S.H., White D.P. (2002)** - The male predisposition to pharyngeal collapse: importance of airway length. *Am J Respir Crit Care Med*, 166(10) : 1388-1395.
195. **Malkoc S., Usumez S., Nur M., Donaghy C.E. (2005)** -Reproducibility of airway dimensions and tongue and hyoid positions on lateral cephalograms. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 128(4) : 513-516.
196. **Marşan G. (2008)** - Head posture and hyoid bone position in adult Turkish Class III females and males. *World J Orthod*, 9(4) : 391-398.
197. **Martinez I., Arsuaga J.L., Quam R., Carretero J.M., Gracia A. (2008)**- Human hyoid bones from the middle pleistocene site of the Sima de los Huesos. Sierra de Atapuerca,Spain. *J Hum Evol*, 54 : 118–124
230. **Miler R. (1986)** - *Beyond ANOVA, Basics of Applied Statistics.* Wiley & Sons
231. **Miller K.W., Walker P.L., O'Halloran R.L. (1998)** - Age and sex-related variation in hyoid bone morphology. *J Forensic Sci*, 43(6) : 1138-1143.
232. **Molfenter S.M., Steele C.M. (2011)** - Physiological variability in the deglutition literature: hyoid and laryngeal kinematics. *Dysphagia*, 26(1) : 67-74.
233. **Mohsenin V. (2001)** - Gender differences in the expression of sleep-disordered breathing : role of upper airway dimensions. *Chest*, 120(5) : 1442-1447.
234. **Mugnier A. (1964)** - *Embryologie et développement bucco-facial : introduction à la stomatologie infantile.* Paris, Masson.

235. **Murail P., Brůžek J., Houët F., Cunha E. (2005)** - DSP : a tool for probabilistic sex diagnosis using worldwide variability in hip-bone measurements. *Bul Mém Soc Anthropol Paris*, 17(3–4) : 167-176.
236. **Muto T., Kanazawa M. (2001)** - Positional change of the hyoid bone at maximal mouth opening. *Laryngoscope*, 111(4 Pt 1) : 634-641.
237. **Muto T., Yamazaki A., Takeda S., Kawakami J., Tsuji Y., Shibata T., Mizoguchi I. (2006)** - Relationship between the pharyngeal airway space and craniofacial morphology, taking into account head posture. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 35 : 132-136.
238. **Murry T., Singh S. (1980)** - Multidimensional analysis of male and female voices. *J Acoust Soc Am*, 68(5) : 1294-1300.
239. **Nagai M., Kudo A., Matsuno I., Yokoyama M., Manabe J., Hasegawa S., Nakamura S. (1989)** - Hyoid bone position and airway accompanied with influence of head posture. *Nihon Kyosei Shika Gakkai Zasshi*, 48(2) : 214-225.
240. **Nicole E., Koord S., Alexander J., Akram R., Urs T., Tateyukil. (2005a)** - Long-term changes of hyoid bone and pharyngeal airway size following advancement of the mandible. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 99 : 404-410.
241. **Nicole E., Wenko S., Tateyuki I. (2005b)** - Long-term changes of hyoid bone position and pharyngeal airway size following mandibular setback by sagittal split ramus osteotomy. *J CraniomaxillofacSurg*, 33 : 111-117.
242. **Nishimura T., Mikami A., Suzuki J., Matsuzawa T. (2006)** - Descent of the hyoid in chimpanzees : evolution of face flattening and speech. *J Hum Evol*, 51(3) : 244-254.
243. **Ogawa T., Enciso R., Memon A., Mah J.K., Clark G.T. (2005)** - Evaluation of 3D airway imaging of obstructive sleep apnea with conebeam computed tomography. *Stud HealthTechnol Inform*, 111 : 365-368.
244. **Ogawa N., Miyazaki Y., Kubota M., Huang J.C., Miller A.J., Maki K. (2010)** - Application of cone beam CT 3D images to cephalometric analysis. *Orthod waves*, 69 : 138-150.
245. **Oh K.M., Hong J.S., Kim Y.J., Cevidanes L.S., Park Y.H. (2011)** - Three-dimensional analysis of pharyngeal airway form in children with anteroposterior facial patterns. *Angle Orthod*, 81(6) : 1075-1082.

246. **O'Halloran R.L., Lundy J.K. (1987)** - Age and ossification of the hyoid bone: forensic implications. *J Forensic Sci*, 32(6) : 1655-1659.
247. **Osorio F., Perilla M., Doyle D.J., Palomo J.M. (2008)** - Cone beam computed tomography: an innovative tool for airway assessment. *Anesth Analg*, 106 : 1803-1807.
248. **Oz U., Orhan K., Abe N. (2011)** - Comparison of linear and angular measurements using two-dimensional conventional methods and three-dimensional cone beam CT images reconstructed from a volumetric rendering program in vivo. *Dentomaxillofac Radiol*, 40(8) : 492-500.
249. **Pae E.K., Blasius J.J., Nanda R. (2004)** - Heterogeneity in vertical positioning of the hyoid bone in relation to genioglossal activity in men. *Angle Orthod*, 74(3) : 343-348.
250. **Pae E.K., Quas C., Quas J., Garrett N. (2008)** - Can facial type be used to predict changes in hyoid bone position with age? A perspective based on longitudinal data. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 134(6) : 792-797.
251. **Papadopoulos N., Lykaki-Anastopoulou G. and Alvanidou E.L. (1988)** - The shape and size of the human hyoid bone and a proposal for an alternative classification. *J. Anat*, 163 : 249-260.
252. **Park J.W., Kim N.K., Kim J.W., Kim M.J, Chang Y.I. (2010)** - Volumetric, planar, and linear analyses of pharyngeal airway change on computed tomography and cephalometry after mandibular setback surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 138(3) : 292-299.
253. **Parsons F.G. (1909)** - The Topography and Morphology of the Human Hyoid Bone. *J Anat Physiol*, 43 (pt 4) : 279-290.
254. **Periago D.R., Scarfe W.C., Moshiri M. (2008)** - Linear accuracy and reliability of cone beam CT derived 3-dimensional images constructed using an orthodontic volumetric rendering program. *Angle Orthod*, 78(3) : 387-395.
255. **Petitjean T., Garcia Tejero M.T., Langevin B., Philit F., Robert D. (1999)** - Orthèses d'avancement mandibulaire utilisées comme traitement du syndrome d'apnée obstructive du sommeil. *Rev Mal Respir*, 16(4) : 463-474.

256. **Petitjean T., Langevin B., Idrissi S.M., Philit F., Garcia Tejero M.T, Robert D. (2002)** - Treatment of obstructive sleep apnea syndrome with mandibular advancement appliances. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*, 103(3) : 170-180.
257. **Philippe J., Loreille J.P. (2000)** - Analyse céphalométrique simplifiée. *Encycl Méd Chir (Édition Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris), Odonto-stomatologie*, 23-455-D-10.
258. **Pin N., Sonke F., Layole MC. (2013)** - Le « cone beam » : état de l'art et perspectives. *IRBM News*, 34 (4) : 91-94.
259. **Pollanen M.S., Chiasson D.A. (1996)** - Fracture of the hyoid bone in strangulation: comparison of fractured and unfractured hyoids from victims of strangulation. *J Forensic Sci*, 41(1) : 110-113.
260. **Pollanen M.S., Ubelaker D.H. (1997)** - Forensic significance of the polymorphism of hyoid bone shape. *J Forensic Sci*, 42(5) : 890-892.
261. **Pollard J., Piercecchi-Marti M.D., Thollon L., Bartoli C., Adalian P., Bécart-Robert A., Tournel G., Hédouin V., Panuel M., Gosset D., Leonetti G. (2011)** - Mechanisms of hyoid bone fracture after modelling : evaluation of anthropological criteria defining two relevant models. *Forensic Sci Int*, 212(1-3), Epub 274 : e1-e5.
262. **Ramirez S.G, Loube DI. (1996)** - Inferior sagittal osteotomy with hyoid bone suspension for obese patients with sleep apnea. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 122(9) : 953-957.
263. **Reed M.H. (1993)** - Ossification of the hyoid bone during childhood. *Can Assoc Radiol J*, 44(4) : 273-276.
264. **Reesink E.M., Van Immerseel A.A.H, Brand R., Bruintjes Tj.D. (1999)** - Sexual dimorphism of the hyoid bone?. *Intern J of Osteoarch*, 9(5) : 357-360.
265. **Ricketts, R.M. (1957)** - Planning Treatment on the Basis of the Facial Pattern and an Estimate of Its Growth. *Angle Ortho*, 27 : 14–37.
266. **Ricketts R.M. (1968)** - Forum on the tonsil and adenoid problem in orthodontics Respiratory obstruction syndrome. *Am J Orthod*, 54(7) : 495–507.
267. **Riedel R.A. (1952)** - Relation of maxillary structures to cranium in malocclusion, *Angle Orthod*, 22 : 142-145.

268. **Riley R.W., Powell N.B., Guilleminault C. (1986)** - Inferior sagittal osteotomy of the mandible with hyoid myotomy-suspension : a new procedure for obstructive sleep apnea. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 94(5) : 589-593.
269. **Riley R.W., Powell N.B., Guilleminault C. (1994)** - Obstructive sleep apnea and the hyoid: a revised surgical procedure. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 111(6) : 717-721.
270. **Roberts J.A., Drage N.A., Davies J. (2009)** - Effective dose from cone beam CT examinations in dentistry. *Br J Radiol*, 82(973) : 35-40.
271. **Rodriguez L., Cabo L.L., Rodriguez J.E.E. (2003)** - Breve nota sobre el hioides Neandertalense de Sidron (Pilona, Asturias). *Antropologia y biodiversidad*, 1 : 484-493.
272. **Ronen O., Malhotra A., Pillar G. (2007)** - Influence of gender and age on upper-airway length during development. *Pediatrics*, 120(4) : 1028-1034.
273. **Rouvière H. (1962)** - *Anatomie humaine descriptive et topographique. Tête et cou*. Paris, Masson et Cie.
274. **Rubin RM. (1980)** - Mode of respiration and facial growth. *Amer J Orthodont*, 78(5) : 504.
275. **Saban R. (1993)** - Aux sources du langage articulé. Paris, Masson, Collection Préhistoire.
276. **Sahin Saglam A.M., Uydas N.E. (2006)** - Relationship between head posture and hyoid position in adult females and males. *J Craniomaxillofac Surg*, 34(2) : 85-92.
277. **Saint Pol T. de. (2007)** - L'obésité en France : les écarts entre catégories sociales s'accroissent. *INSEE Première*, 1123
278. **Salvolini L., Bichi Secchi E., Costarelli L., De Nicola M. (2000)** - Clinical applications of 2D and 3D CT imaging of the airways - a review. *Eur J Radiol*, 34 : 9-25.
279. **Sasaki C.T., Levine P.A., Laitman J.T., Crelin ES Jr. (1977)** - Postnatal descent of the epiglottis in man. A preliminary report. *Arch Otolaryngol*, 103(3) : 169-171.
280. **Scarano E., Della Marca G., De Corso E., Dittoni S., Di Nardo W., Meucci D., Bastanza G., Gallus R., Losurdo A., Testani E., Paludetti G. (2014)** - Hyoid myotomy without suspension : a surgical approach to obstructive sleep apnoea syndrome. *Acta Otorhinolaryngol Ital*, 34(5) : 362-367.
281. **Scarfe W.C., Farman A.G, Sukovic P. (2006)** - Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc*, 72(1) : 75-80.

282. **Schendel S.A, Hatcher D. (2010)** - Automated 3-dimensional airway analysis from conebeam computed tomography data. *J Oral Maxillofac Surg*, 68 : 696-701.
283. **Schudy F.F. (1964)** - Vertical growth versus antero-posterior growth as related to function and treatment. *Angle Orthod*, 34 : 75-94.
284. **Schulze D., Heiland M., Thurmann H. (2004)** - Radiation exposure during midfacial imaging using 4- and 16-slice computed tomography, cone beam computed tomography systems and conventional radiography. *Dentomaxillofac Radiol*, 33(2) : 83-86.
285. **Sénécail B. (1979)** - *L'Os Hyoïde. Introduction Anatomique à l'Étude de Certains Mécanisme de la Phonation*. Mémoires du Laboratoire d'Anatomie de la Faculté de Médecine de Paris.
286. **Shastri D., Tandon P., Nagar A., Singh A. (2015)** - Cephalometric norms for the upper airway in a healthy North Indian population. *Contemp Clin Dent*, 6(2) : 183-188.
287. **Sheng C.M., Lin L.H., Su Y., Tsai H.H. (2009)** - Developmental changes in pharyngeal airway depth and hyoid bone position from childhood to young adulthood. *Angle Orthod*, 79(3) : 484-490.
288. **Shimizu Y., Kanetaka H., Kim Y.H., Okayama K., Kano M., Kikuchi M. (2005)** - Age-related morphological changes in the human hyoid bone. *Cells Tissues Organs*, 180(3) : 185-192.
289. **Shin J.H., Kim M.A., Park I.Y., Park Y.H. (2015)** - A 2-year follow-up of changes after bimaxillary surgery in patients with mandibular prognathism : 3-dimensional analysis of pharyngeal airway volume and hyoid bone position. *J Oral Maxillofac Surg*, 73(2) : 340.e1-9.
290. **Sicher H. (1960)** - *Oral Anatomy*. St Louis.The C.V Mosby Company.
291. **Silva M.A., Wolf U., Heinicke F., Bumann A., Visser H., Hirsch E. (2008)** - Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 133(5) : 640.e1-5.
292. **Siqueira de Souza K.R., Oltramari- Navarro P.V.P., Navarro R.L., Conti A.Cl.C.F., Almeida M. R. (2013)** - Reliability of a method to conduct upper airway analysis in cone-beam computed tomography. *Braz Oral Res*, 27(1) : 48-54.
293. **Solow B., Greve E. (1979)** - Craniocervical angulation and nasal respiratory resistance. In : Mc Namara J.A (ed) *Naso-respiratory function and cranial growth. Monograph No.9*,

Craniofacial Growth series, Center for Human Growth and Development, Ann Arbor, University of Michigan.

294. **Solow B., Siersbaek-Nielsen S., Greve E. (1984)** - Airway adequacy, head posture, and craniofacial morphology. *Am J Orthod*, 86(3) : 214-223.
295. **Solow B., Sonnesen L. (1998)** - Head posture and malocclusions. *Eur J Orthod*, 20(6) : 685-693.
296. **Solow B., Tallgren A. (1976)** - Head posture and craniofacial morphology. *Am J Phys Anthropol*, 44(3) : 417-435.
297. **Sosa F.A., Graber T.M., Muller T.P. (1982)** - Postpharyngeal lymphoid tissue in Angle Class I and Class II malocclusions. *Am J Orthod*, 81(4) : 299-309.
298. **Spoor F., Zonneveld F.W., Macho G.A. (1993)** - Linear Measurements of Cortical Bone and Dental Enamel by Computed Tomography : Applications and Problems. *Am J Phys Anthropol*, 91(4) : 469-484.
299. **Steele C.M., Bailey G.L., Chau T., Molfenter S.M., Oshalla M., Waito A.A., Zoratto D.C. (2011)** - The relationship between hyoid and laryngeal displacement and swallowing impairment. *Clin Otolaryngol*, 36(1) : 30-36.
300. **Steele J., Clegg M., Martelli S. (2013)** - Comparative morphology of the hominin and african ape hyoid bone, a possible marker of the evolution of speech. *Hum Biol*, 85(5) : 639-672.
301. **Steiner C. (1953)** - Cephalometrics for You and Me. *Am. J. Orthodontics*, 39 : 729-755.
302. **Stepovich M.L. (1965)** - A cephalometric positional study of the hyoid bone. *Am J Orthod*, 51(12) : 882-900.
303. **Stratemann S.A., Huang J.C., Maki K. (2008)** - Comparison of cone beam computed tomography imaging with physical measures. *Dentomaxillofac Radiol*, 37(2) : 80-93.
304. **Suomalainen A., Vehmas T., Kortensniemi M. (2008)** - Accuracy of linear measurements using dental cone beam and conventional multislice computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol*, 37(1) : 10-17.
305. **Swennen G.R., Schutyser F. (2006)** - Three-dimensional cephalometry: spiral multi-slice vs cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 130(3) : 410-416.

306. **Tallgren A., Lang B.R., Walker G.F., Ash M.M. Jr. (1983)** - Changes in jaw relations, hyoid position, and head posture complete denture wearers. *J Prosthet Dent*, 50(2) : 148-156.
307. **Tallgren A., Solow B. (1984)** - Long-term changes in hyoid bone position and craniocervical posture in complete dentures wearers. *Acta Odontol Scand*, 42(5) : 257-267.
308. **Tallgren A., Solow B. (1987)** - Hyoid bone position, facial morphology and head posture in adults. *Eur J Orthod*, 9(1) : 1-8.
309. **Talmant J. (1976)** - Introduction à l'étude de la statique céphalique. *Rev Orthop Dento Faciale*, 10 : 321-334.
310. **Talmant J. (1995)** - Intérêt de l'absence d'oropharynx pour la ventilation du nouveau-né. Particularités morphologiques du pharynx néo-natal. *Rev Orthop Dento Faciale*, 29 : 337-344.
311. **Talmant J., Renaudin S. (1995)** - Développement de l'oropharynx: hominisation du crâne. Croissance cervicale et ontogenèse de l'oropharynx. Caractérisation du mouvement hyoïdien. *Rev Orthop Dento Faciale*, 29 : 529-542.
312. **Talmant J., Renaudin S. (1996)** - Rôle de la croissance du rachis cervical. Aménagements physiologiques associés à la migration de l'os hyoïde. *Rev Orthop Dento Faciale*, 30 : 253-269.
313. **Talmant J., Renaudin S., Renaud P. (1996)** - Développement de l'oropharynx : conséquences pour la physiologie de la paroi pharyngée. Rôle de l'appareil de suspension de l'os hyoïde. *Rev Orthop Dento Faciale*, 30 : 333-349 et : 557-570.
314. **Talmant J., Renaudin S., Renaud P. (1998)** - Ventilation et mécanique de l'oropharynx. *Rev Orthop Dento Faciale*, 32 : 105-166 et : 207-233 et : 452-478.
315. **Tangugsorn V., Skatvedt O., Krogstad O., Lyberg T. (1995)** - Obstructive sleep apnoea : a cephalometric study. Part I. Cervico-craniofacial skeletal morphology. *Eur J Orthod*, 17(1) : 45-56.
316. **Taranger J., Hägg U. (1980)** - The timing and duration of adolescent growth. *Acta Odontol Scand*, 38(1) : 57-67.
317. **Taylor M., Hans M.G., Strohl K.P., Nelson S., Broadbent B.H. (1996)** - Soft tissue growth of the oropharynx. *Angle Orthod*, 66(5) : 393-400.

318. **Tetradis S., White S.C. (2010)** - A decade of cone beam computed tomography. *J Calif Dent Assoc*, 38(1) : 24-26.
319. **Thuy V.T., Chau T.T., Cong N.D., De D.V., Nguyen T.V. (2003)** - Assessment of low bone mass in Vietnamese : comparison of QUS calcaneal ultrasonometer and data-derived T-scores. *J Bone Miner Metab*, 21(2) : 114-119.
320. **Titiz I., Laubinger M., Keller T., Hertrich K., Hirschfelder U. (2012)** - Repeatability and reproducibility of landmarks—a three-dimensional computed tomography study. *Eur J Orthod*, 34(3) : 276–286.
321. **Titze I.R. (1994)** - Mechanical stress in phonation. *J Voice*, 8(2) : 99-105.
322. **Toh S.T., Hsu P.P., Tan K.L., Lu K.S., Han H.J. (2013)** - Hyoid expansion with titanium plate and screw : a human cadaveric study using computer-assisted airway measurement. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 139(8) : 817-821.
323. **Tourné L.P. (1991)** - Growth of the pharynx and its physiologic implications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 99(2) : 129-139.
324. **Treil J, Braga J, Aït-Ameur A. (2002)** - Modélisation 3D du viscéro-crâne. Applications en orthodontie et chirurgie orthognatique. *J Radiol*, 90 : 634-641.
325. **Treil J., Casteigt J., Madrid C., Borianne P. (1997)** - Une nouvelle construction céphalométrique tridimensionnelle. Un nouveau paramètre d'analyse tridimensionnelle : les axes d'inertie. *Orthod Fr*, 68 : 171-181.
326. **Treil J., Casteigt J., Faure J., Madrid C., Borianne P., Jaeger M. (2000)** - Architecture crânio-facio-maxillo-dentaire. Un modèle tridimensionnel. Application en clinique orthodontique et chirurgie orthognathique. *Encycl Méd Chir Odontologie/Stomatologie*, 23-455-E-40.
327. **Treil J., Casteigt J., Borianne P., Madrid C., Jaeger M., de Bonnecaze P. (1999)** - L'équilibre architectural de la face : un concept céphalométrique 3D. *RevStomatol Chir maxillo-fac*, 100 : 111-122.
328. **Treil J., Faure J., Braga J., Casteigt J., Borianne P. (2002)** - Imagerie et céphalométrie tridimensionnelles des asymétries crânio-faciales. *Orthod Fr*, 73 : 179-197.

329. **Troell R.J., Riley R.W., Powell N.B., Li K. (1998)** - Surgical management of the hypopharyngeal airway in sleep disordered breathing. *Otolaryngol Clin North Am*, 31(6) : 979-1012.
330. **Tsai H.H. (2007)** - Developmental changes of pharyngeal airway structures from young to adult persons. *J Clin Pediatr Dent*, 31 : 221–223.
331. **Tselnik M., Pogrel M.A. (2000)** - Assessment of the pharyngeal airway space after mandibular setback surgery. *J Oral Maxillofac Surg*, 58(3) : 282-285.
332. **Tso H.H., Lee J.S., Huang J.C., Maki K., Hatcher D., Miller A.J. (2009)** - Evaluation of the human airway using cone-beam computerized tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 108(5) : 768-776.
333. **Tweed C.H. (1954)** - The Frankfort-Mandibular Incisor Angle (FMIA) In Orthodontic Diagnosis, Treatment Planning and Prognosis. *Angle Orthod*, 24(3) : 121-169.
334. **Ung N., Koenig J., Shapiro P.A., Shapiro G., Trask G. (1990)** - A quantitative assessment of respiratory patterns and their effects on dentofacial development. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 98(6) : 523-532.
335. **Urbanová P., Hejna., Zátopková L., Šafr M. (2013)** - What is the appropriate approach in sex determination of hyoid bones? *J Forensic Leg Med*, 20(8) : 996-1003.
336. **Van der Kruis J.G.J., Baijens L.W.J., Speyer R., Zwijnenberg I. (2011)** - Biomechanical analysis of hyoid bone displacement in videofluoroscopy: A systematic review of intervention effects. *Dysphagia*, 26(2) : 171-182.
337. **Vieira B.B., Itikawa C.E., de Almeida L.A., Sander H.S., Fernandes R.M., Anselmo-Lima W.T., Valera F.C. (2011)** - Cephalometric evaluation of facial pattern and hyoid bone position in children with obstructive sleep apnea syndrome. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 75(3) : 383-386.
338. **Vilkman E., Karma P. (1989)** - Vertical hyoid bone displacement and fundamental frequency of phonation. *Acta Otolaryngol*, 108(1-2) : 142-151.
339. **Vinha P.P., Eckeli A.L., Faria A.C., Xavier S.P., de Mello-Filho F.V. (2015)** - Effects of surgically assisted rapid maxillary expansion on obstructive sleep apnea and daytime sleepiness. *Sleep Breath*, Epub jun 2015.

340. **Vizzotto M.B., Liedke G.S., Delamare E.L., Silveira H.D., Dutra V., Silveira H.E. (2012)** - A comparative study of lateral cephalograms and cone-beam computed tomographic images in upper airway assessment. *Eur J Orthod*, 34(3) : 390-393.
341. **Vorperian H.K., Kent R.D., Gentry L.R., Yandell B.S. (1999)** - Magnetic resonance imaging procedures to study the concurrent anatomic development of vocal tract structures: preliminary results. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 49(3) : 197-206.
342. **Vorperian H.K., Kent R.D., Lindstrom M.J., Kalina CM, Gentry L.R., Yandell B.S. (2005)** - Development of vocal tract length during early childhood : a magnetic resonance imaging study. *J Acoust Soc Am*, 117(1) : 338-350.
343. **Walker L., Enciso R., Mah J. (2005)** - Three-dimensional localization of maxillary canines with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 128(4) : 418-423.
344. **Wang T., Yang Z., Yang F., Zhang M., Zhao J., Chen J., Li Y. (2014)** - A three dimensional study of upper airway in adult skeletal Class II patients with different vertical growth patterns. *PLoS One*, 9(4) : e95544.
345. **Weissheimer A., Menezes L.M., Sameshima G.T., Enciso R., Pham J., Grauer D. (2012)** - Imaging software accuracy for 3-dimensional analysis of the upper airway. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 142(6) : 801-813.
346. **Westhorpe R.N. (1987)** - The position of the larynx in children and its relationship to the ease of intubation. *Anaesth Intensive Care*, 15(4) : 384-388.
347. **White SC. (2008)** - Cone-beam imaging in dentistry. *Health Phys*, 95(5) : 628-637.
348. **Wong M.L., Sandham A., Ang P.K., Wong D.C., Tan W.C., Huggare J. (2005)** - Craniofacial morphology, head posture, and nasal respiratory resistance in obstructive sleep apnoea: an inter-ethnic comparison. *Eur J Orthod*, 27(1) : 91-97.
349. **Yamashina A., Tanimoto K., Sutthiprapaporn P., Hayakawa Y. (2008)** - The reliability of computed tomography (CT) values and dimensional measurements of the oropharyngeal region using cone beam CT: comparison with multidetector CT. *Dentomaxillofac Radiol*, 37 : 245-251.
350. **Yoshihara M., Terajima M., Yanagita N., Hyakutake H., Kanomi R., Kitahara T., Takahashi I. (2012)** - Three-dimensional analysis of the pharyngeal airway morphology in growing

- Japanese girls with and without cleft lip and palate. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 141(4 Suppl) : 92-101.
351. **Zheng Z.H., Yamaguchi T., Kurihara A., Li H.F, Maki K. (2014)** - Three-dimensional evaluation of upper airway in patients with different anteroposterior skeletal patterns. *Orthod Craniofac Res*, 17(1) : 38-48.
352. **Zhong Z., Tang Z., Gao X., Zeng X.L. (2010)** - A comparison study of upper airway among different skeletal craniofacial patterns in nonsnoring Chinese children. *Angle Orthod*, 80(2) : 267-274.
353. **Zhuang Z., Landsittel D., Benson S., Roberge R., Shaffer R. (2010)** - Facial anthropometric differences among gender, ethnicity, and age groups. *Ann Occup Hyg*, 54(4) : 391-402.

ANNEXES

Annexe II.1

<p>Étape 1 : Chargement de l'examen</p>	<p>« Plug-in > Image 3D > Load Dicom/Sujet.../ » Name of object to create : scan</p>
<p>Étape 2 : Création de la « <i>bounding box</i> »</p>	<p>Onglet Image 3D → Scan → Choix de la première coupe qui contient l'os hyoïde « Onglet Bounding box » New > Bounding box name → Hyoïde Pick corne 1 : Au niveau près de l'extrémité postérieure de la grande corne droite Onglet Image 3D → Scan → Choix de la dernière coupe qui contient l'os hyoïde Pick corne 2 : Au niveau de l'extrémité antérieure du corps de l'os hyoïde Plugin > Image 3D > Crop a 3D Image → 3D Image : Scan Bounding box : Hyoïde → New 3D Image name : Hyoïde box</p>
<p>Étape 3 : Reconstruction de la totalité de l'os hyoïde</p>	<p>« Plug-in > Mesh > HMH surface 2 » Image 3D : <i>Hyoïde_box</i> Mode : 0 Gray threshold : 74 Gray min : 0 Gray max : 65535 HMH max length : 0 Binary image : <i>Hyoïde_box</i> Name of mesh to create : hyoïde 3D</p>
<p>Étape 4 : Sous étapes pour des reconstructions partielles</p>	<p>« Onglet Image 3D → Hyoïde box → Choix de coupe « Onglet Bounding box » New > Bounding box name → Post D → Pick corne 1 « Onglet Image 3D → Hyoïde box → Choix de coupe « Onglet Bounding box » → Pick corne 2 Plugin > Image 3D > Crop a 3D Image → 3D Image : Hyoïde box Bounding box : Post D → New 3D Image name : Post D box « Plug-in > Mesh > HMH surface 2 » Image 3D : <i>Post D_box</i> Mode : 0 Gray threshold : 70 Gray min : 0 Gray max : 65535 HMH max length : 0 Binary image : <i>Post D_box</i> Name of mesh to create : Post D 3D</p>

Annexe II. 1 : Commande TIVMI pour reconstruction de l'os hyoïde

Annexe II.2

<p>Étape 1 : chargement des fichiers DICOM</p>	<p>« Plug-in > Image 3D > Load Dicom/Sujet.../ » Name of onject to create : scan</p>
<p>Étape 2 : création des plans sagittal et frontal du scan</p>	<p>« Plug-in > Image 3D > Orthoslice» → Image 3D to reslice > Name of first ortho image Fronto > Name of second ortho 3D image Sagi</p>
<p>Étape 3 : repérage des limites des VAS et création de la <i>bounding box</i> pour la reconstruction des VAS.</p>	<p>Onglet Image 3D → Scan → Choix de la coupe limite supérieure des VAS Onglet Bounding box > New > Bounding box name → VAS → Pick corne 1 Onglet Image 3D → Scan → Choix de coupe limite inférieure des VAS → Pick corne 2 « Plugin > Image 3D > Crop a 3D Image → 3D Image : Scan » Bounding box : VAS → New 3D Image name : VAS box</p>
<p>Étape 4 : segmentation des VAS</p>	<p>Onglet « Image 3D (affiche VAS box) > Edit a new segmentation » (<i>seg_VAS_box</i> crée automatiquement) Plugin > double threshold > Image 3D : <i>seg_VAS_box</i> Gray value 1 : 0 Gray value 2 : 1 Name of 3D image to create : VAS bina « Plug-in > Mesh > HMH surface 2 » Image 3D : <i>seg_VAS_box</i> mode : 0 Gray threshold : 0 Gray min : 0 Gray max : 65535 HMH max length : 0 Binary image : <i>VAS_bina</i> Name of mesh to create : VAS_3D</p>

Annexe II. 2 : Commande TIVMI pour reconstruction des VAS

Étape 4 : Créer des points et plans complémentaires	Affichage l'objet 3D : Hoyoide 3D			
	Onglet Point 3D→	Pick new →	Name of object : HyB3 : intersection de HySagi avec bord supérieur du corps	
		Pick new →	Name of object : Hy B2 : intersection de HySagi avec bord inférieur du corps	
	Plugin → Point 3D →	Plane →	Hy plan	Name of 3D point : Hy
Orthogonal projection : point on plane	Point →	Hy C1	C1 pr	
		Plane →	Hy plan	Name of 3D point : Hy
		Point →	Hy C2	C2 pr
	Plugin → Plane→ Make plane → Input :	Point 1 : HyL1 Point 2 : HyC1 Point 3 : HyC1 pr	Name of 3D plane : Plan Corne 1	
	Plugin → Plane→ Make plane → Input :	Point 1 : HyL2 Point 2 : HyC2 Point 3 : HyC2 pr	Name of 3D plane : Plan Corne 2	
Étape 5 : Faire des segments et des angles	Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points		Point 1 : HyC1 pr Point 2 : HyC2 pr	Name of 3D segment : Hy Lar Corne pr
	Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points		Point 1 : HyB3 Point 2 : Hy B2	Name of 3D segment : Corps hauteur
	Plugin → Data → Height of triangle		Point 1 : HyB1 (summit) Point 2 : HyL1 (basis) Point 3 : HyL2 (basis)	Name of 3D height : Hy Long
	Plugin → Data → Height of triangle		Point 1 : HyB1 (summit) Point 2 : HyC1 pr (basis) Point 3 : HyC2 pr (basis)	Name of 3D height : Distance B1
	Plugin → Data → Angle 3 Points		Point 1 (angle) : HyB1 Point 2 : HyL1 Point 3 : HyL2	Name of Angle : Hy Angle
	Plugin → Data → Angle 2 planes		Plane 1 : Plan Corne 1 Plane 2 : Plan Corne 2	Name of Angle : Angle Corne

Annexe II. 3 : Commande TIVMI pour des mesures de dimensions de l'os hyoïde

Annexe II.4

Étape 1 : Mesure automatique des volumes et des surfaces : étape automatisé : script data volume et surface		
Plugin → Data → Volume from Material	Segmented Image 3D : VAS bina	Name of Volume : V total
Plugin → output to file → Save surface material to CSV	Segmented Image 3D : VAS bina	Save as : Surfaces
Étape 2 : Saisit des points : étape manuelle		
Onglet Image 3D : affichage de VAS bina, coupe supérieure	Point 1 : S1	
Onglet point 3D → Pick new	Point 2 : S2	
Onglet Image 3D : affichage de VAS bina, coupe moyenne	Point 1 : M1	
Onglet point 3D → Pick new	Point 2 : M2	
Onglet Image 3D : affichage de VAS bina, coupe inférieure	Point 1 : L1	
Onglet point 3D → Pick new	Point 2 : L2	
Onglet Image 3D : affichage de VAS bina, coupe hypopharynx	Point 1 : H1	
Onglet point 3D → Pick new	Point 2 : H2	
Onglet Image 3D : affichage de VAS bina, coupe la plus étroite	Point 1 : E1	
Onglet point 3D → Pick new	Point 2 : E2	
Étape 3 : création des segments de longueur antéro-postérieure des coupes, création des points du milieu des coupes, création des plans transversaux : étape automatisé : script plan VAS		
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : S1 Point 2 : S2	Name of 3D segment : S1S2
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : M1 Point 2 : M2	Name of 3D segment : M1M2
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : L1 Point 2 : L2	Name of 3D segment : L1L2
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : H1 Point 2 : H2	Name of 3D segment : H1H2
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : E1 Point 2 : E2	Name of 3D segment : E1E2
Plugin → Point 3D → Make a Point on a 3D segment from a ratio	3D segment : S1S2 Ratio : 0.5	Name of 3D point : S3
Plugin → Point 3D → Make a Point on a 3D segment from a ratio	3D segment : M1M2 Ratio : 0.5	Name of 3D point : M3
Plugin → Point 3D → Make a Point on a 3D segment from a ratio	3D segment : L1L2 Ratio : 0.5	Name of 3D point : L3
Plugin → Point 3D → Make a Point on a 3D segment from a ratio	3D segment : H1H2 Ratio : 0.5	Name of 3D point : H3
Plugin → Point 3D → Make a Point on a 3D segment from a ratio	3D segment : E1E2 Ratio : 0.5	Name of 3D point : E3
Plugin → Plane → Orthogonal segment 3D	Segment : S1S2 Point : S3	Name of 3D Plane : Lar sup
Plugin → Plane → Orthogonal segment 3D	Segment : M1M2 Point : M3	Name of 3D Plane : Lar med
Plugin → Plane → Orthogonal segment 3D	Segment : L1L2 Point : L3	Name of 3D Plane : Lar low
Plugin → Plane → Orthogonal segment 3D	Segment : H1H2 Point : H3	Name of 3D Plane : Lar hypo
Plugin → Plane → Orthogonal segment 3D	Segment : E1E2 Point : E3	Name of 3D Plane : Lar etroit

Étape 4 : création des points de largeur : saisie manuel		
Onglet Image 3D : affichage de VAS bina, coupe supérieure	Point 1 : S4	
Onglet point 3D → Pick new	Point 2 : S5	
Onglet Image 3D : affichage de VAS bina, coupe moyenne	Point 1 : M4	
Onglet point 3D → Pick new	Point 2 : M5	
Onglet Image 3D : affichage de VAS bina, coupe inférieure	Point 1 : L4	
Onglet point 3D → Pick new	Point 2 : L5	
Onglet Image 3D : affichage de VAS bina, coupe hypopharynx	Point 1 : H4	
Onglet point 3D → Pick new	Point 2 : H5	
Onglet Image 3D : affichage de VAS bina, coupe étroite	Point 1 : E4	
Onglet point 3D → Pick new	Point 2 : E5	
Étape 5 : création des segments des largeurs des coupes : étape automatisé : script segment 45 VAS		
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : S4 Point 2 : S5	Name of 3D segment : S4S5
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : M4 Point 2 : M5	Name of 3D segment : M4M5
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : L4 Point 2 : L5	Name of 3D segment : L4L5
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : H4 Point 2 : H5	Name of 3D segment : H4H5
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : E4 Point 2 : E5	Name of 3D segment : E4E5
Étape 6 : création des points et mesure des hauteurs des VAS : étape automatisé : script hauteur VAS		
Plugin → Point 3D → Orthogonal Projection : Point on Plane	Plane : Lar med Point : S3	Name of 3D point : S3 pr med
Plugin → Point 3D → Orthogonal Projection : Point on Plane	Plane : Lar low Point : S3	Name of 3D point : S3 pr low
Plugin → Point 3D → Orthogonal Projection : Point on Plane	Plane : Lar low Point : S3	Name of 3D point : S3 pr hypo
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : S3 Point 2 : S3 pr hypo	Name of 3D segment : H total
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : S3 Point 2 : S3 pr med	Name of 3D segment : H naso
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : S3 pr med Point 2 : S3 pr low	Name of 3D segment : H oro
Plugin → Segment 3D → Make a 3D segment from 2 points	Point 1 : S3 pr low Point 2 : S3 pr hypo	Name of 3D segment : H hypo
Étape 7 : Recoupe des étages VAS : étape manuelle		
Onglet Image 3D → Choix de la coupe limite supérieure		
«Onglet Bounding box > New > Bounding box name →	Naso →	Pick corne 1
Onglet Image 3D → VAS bina → Choix de coupe limite moyenne		
→ Onglet Bounding box > VAS naso →		Pick corne 2
Plugin > Image 3D > Crop a 3D Image → 3D Image : VAS bina	New 3D Image name : Naso bina	
Bounding box : Naso		

<p>Onglet Image 3D → Choix de la coupe limite moyenne -1</p> <p>«Onglet Bounding box > New > Bounding box name →</p> <p>Onglet Image 3D → VAS bina → Choix de coupe limite inférieure</p> <p>→ Onglet Bounding box > Oro →</p> <p>Plugin > Image 3D > Crop a 3D Image → 3D Image : VAS bina</p> <p>Bounding box : Oro</p>	<p>Oro →</p> <p>Pick corne 1</p> <p>Pick corne 2</p> <p>New 3D Image name : Oro bina</p>
<p>Onglet Image 3D → Choix de la coupe limite inférieure -1</p> <p>«Onglet Bounding box > New > Bounding box name →</p> <p>Onglet Image 3D → VAS bina → Choix de coupe limite hypo</p> <p>→ Onglet Bounding box > Hypo →</p> <p>Plugin > Image 3D > Crop a 3D Image → 3D Image : VAS bina</p> <p>Bounding box : Hypo</p>	<p>Hypo →</p> <p>Pick corne 1</p> <p>Pick corne 2</p> <p>New 3D Image name : Hypo bina</p>
<p>Étape 8 : Mesure du volume de chaque étage des VAS : automatisé : script Volume 3 étages</p>	
<p>Plugin → Data → Volume from Material</p>	<p>Segmented Image 3D : Naso bina</p> <p>Name of Volume : V naso</p>
<p>Plugin → Data → Volume from Material</p>	<p>Segmented Image 3D : Oro bina</p> <p>Name of Volume : V oro</p>
<p>Plugin → Data → Volume from Material</p>	<p>Segmented Image 3D : Hypo bina</p> <p>Name of Volume : V hypo</p>

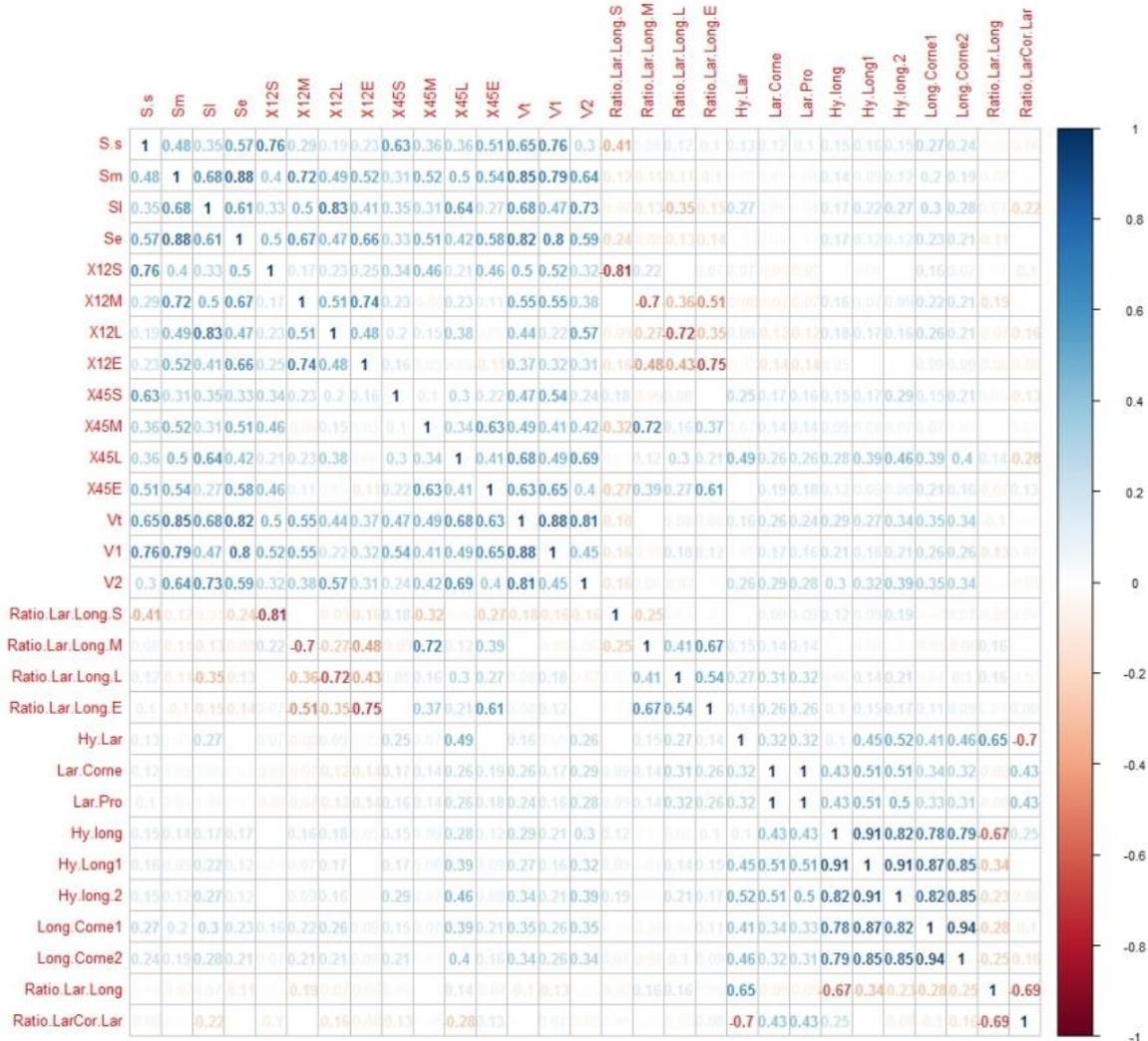
Annexe II. 4 : Commande TIVMI pour des mesures de dimensions des VAS

Annexe II.5

ddl \ α					
	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,9877	0,9969	0,9995	0,9999	0,9999
2	0,9000	0,9500	0,9800	0,9900	0,9990
3	0,8054	0,8783	0,9343	0,9587	0,9912
4	0,7293	0,8114	0,8822	0,9172	0,9741
5	0,6694	0,7545	0,8329	0,8745	0,9507
6	0,6215	0,7067	0,7887	0,8343	0,9249
7	0,5822	0,6664	0,7498	0,7977	0,8982
8	0,5494	0,6319	0,7155	0,7646	0,8721
9	0,5214	0,6021	0,6851	0,7348	0,8471
10	0,4973	0,5760	0,6581	0,7079	0,8233
11	0,4762	0,5529	0,6339	0,6835	0,8010
12	0,4575	0,5324	0,6120	0,6614	0,7800
13	0,4409	0,5139	0,5923	0,6411	0,7603
14	0,4259	0,4973	0,5742	0,6226	0,7420
15	0,4124	0,4821	0,5577	0,6055	0,7246
16	0,4000	0,4683	0,5425	0,5897	0,7084
17	0,3887	0,4555	0,5285	0,5751	0,6932
18	0,3783	0,4438	0,5155	0,5614	0,6787
19	0,3687	0,4329	0,5034	0,5487	0,6652
20	0,3598	0,4227	0,4921	0,5368	0,6524
25	0,3233	0,3809	0,4451	0,4869	0,5974
30	0,2960	0,3494	0,4093	0,4487	0,5541
35	0,2746	0,3246	0,3810	0,4182	0,5189
40	0,2573	0,3044	0,3578	0,3932	0,4896
45	0,2428	0,2875	0,3384	0,3721	0,4648
50	0,2306	0,2732	0,3218	0,3541	0,4433
60	0,2108	0,2500	0,2948	0,3248	0,4078
70	0,1954	0,2319	0,2737	0,3017	0,3799
80	0,1829	0,2172	0,2565	0,2830	0,3568
90	0,1726	0,2050	0,2422	0,2673	0,3375
100	0,1638	0,1946	0,2301	0,2540	0,3211

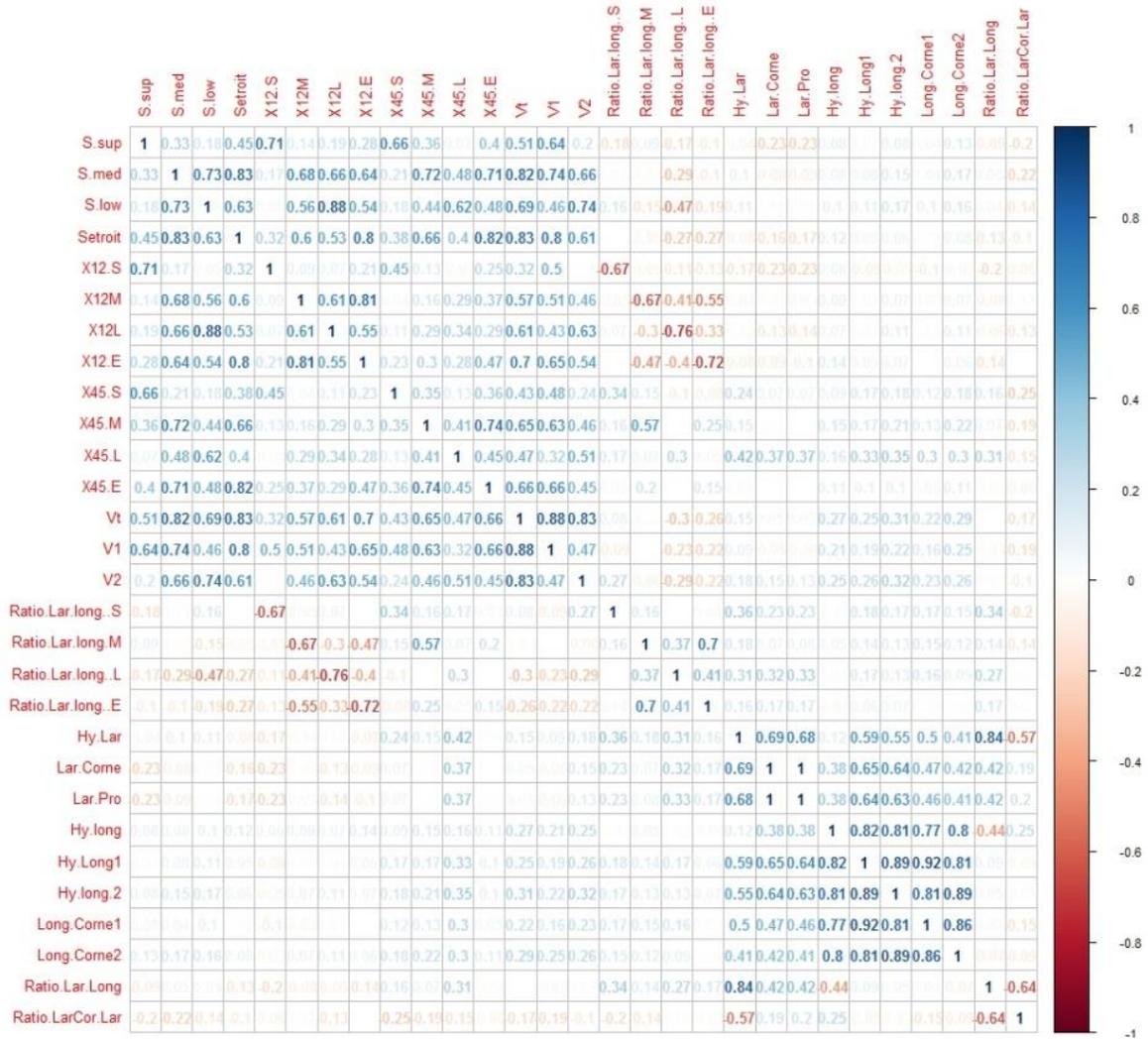
Annexe II. 5 : Table du coefficient de corrélation

Annexe III.1



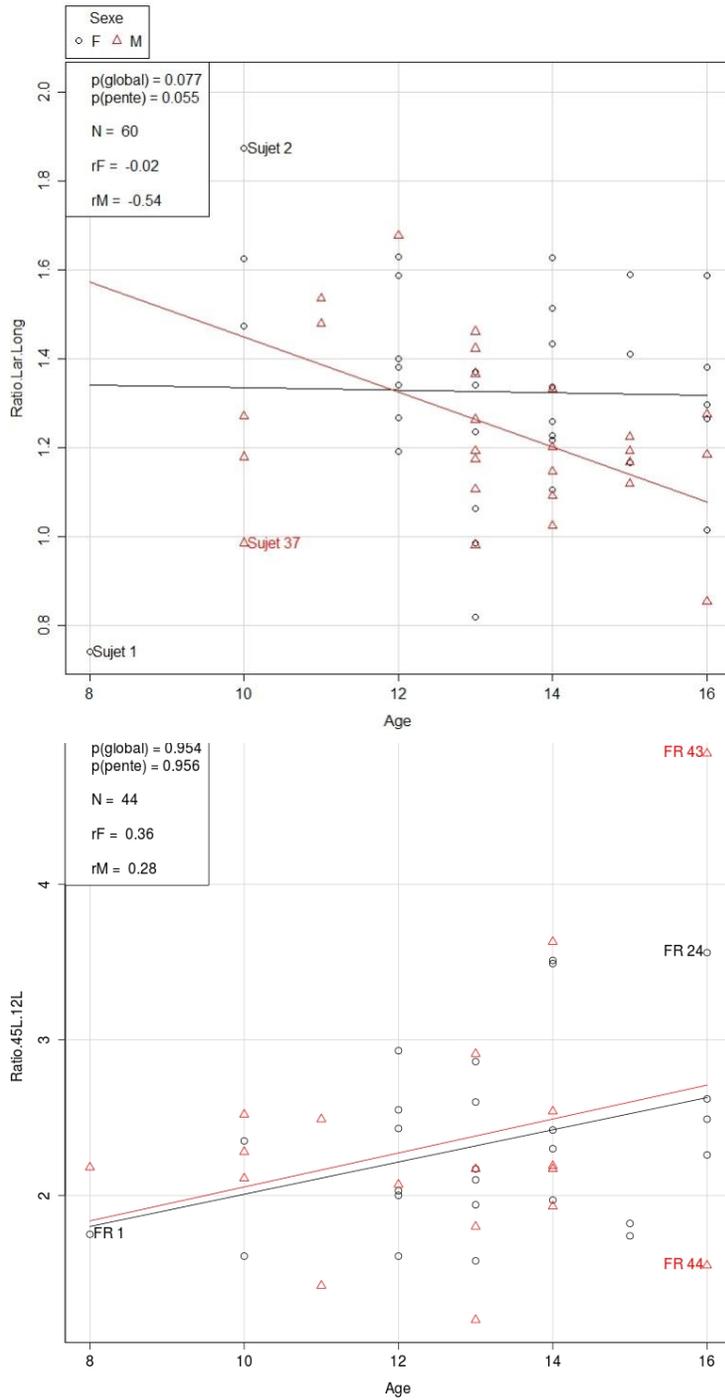
Annexe III. 1 : Les corrélations entre les dimensions de l'os hyoïde et les dimensions des VAS chez les enfants

Annexe III.2



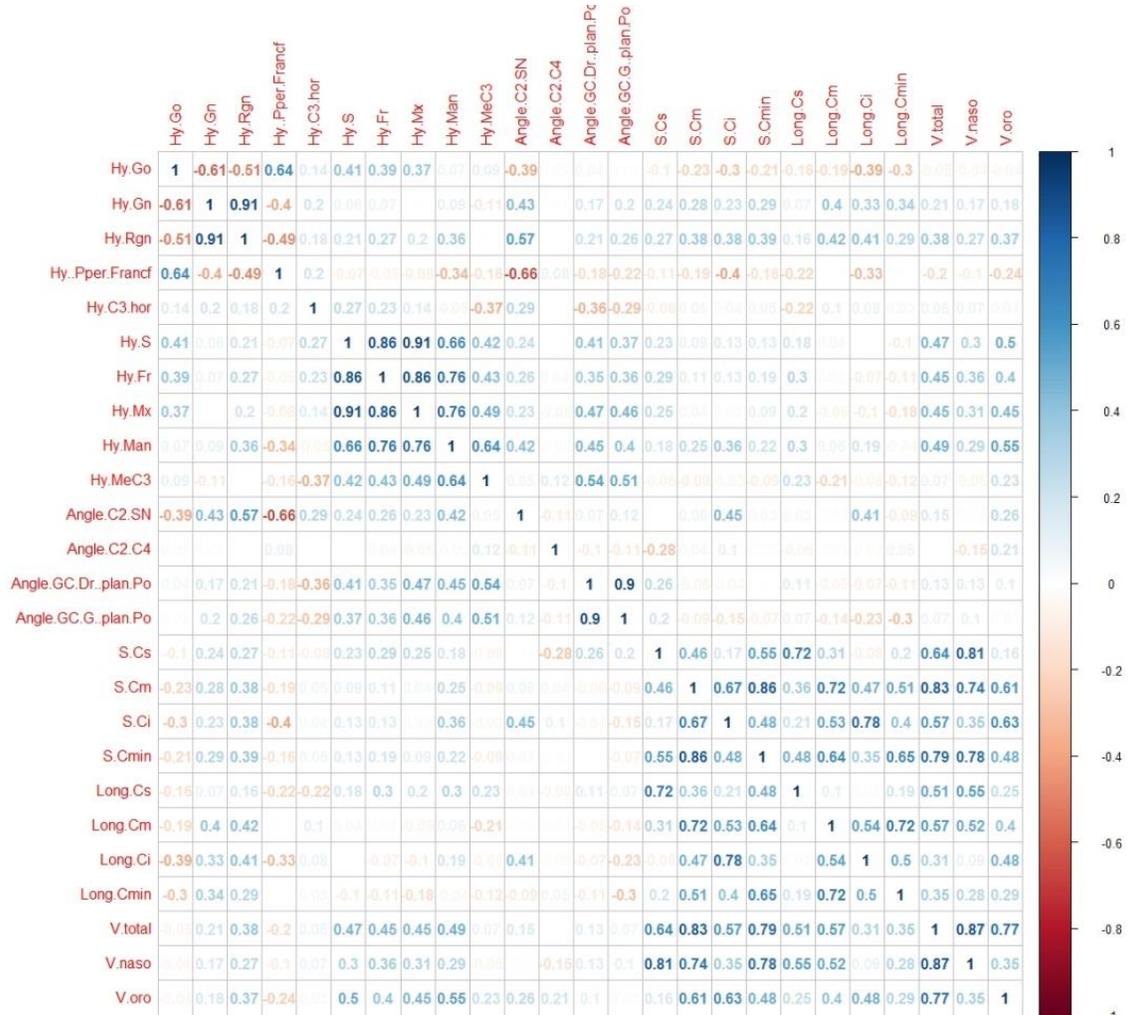
Annexe III. 2 : Les corrélations entre les dimensions de l'os hyoïde et les dimensions des VAS chez les adultes

Annexe III.3



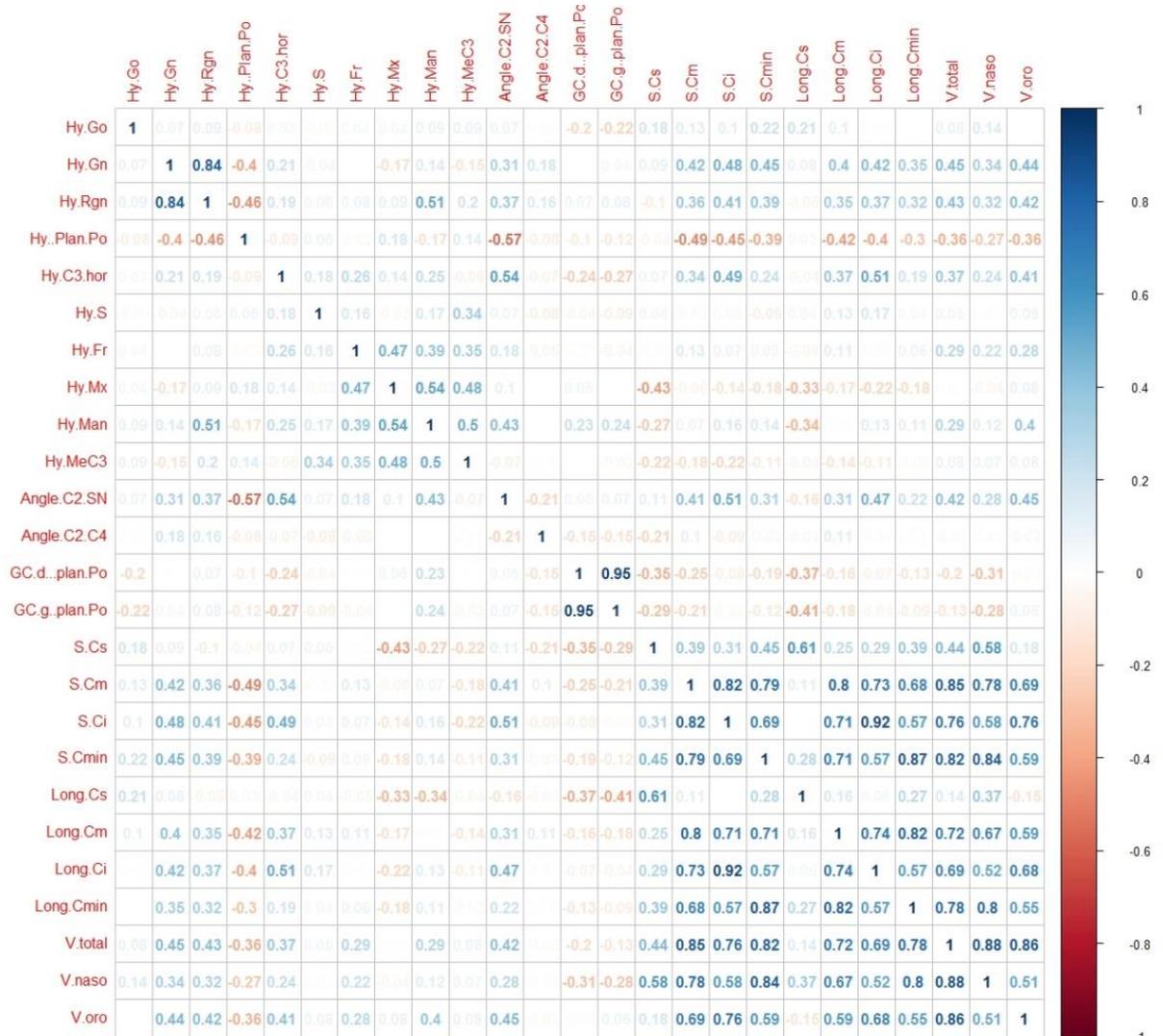
Annexe III. 3 : ANCOVA des rapports des largeur/longueur de l'os hyoïde et de la coupe inférieure de l'oropharynx

Annexe III.4



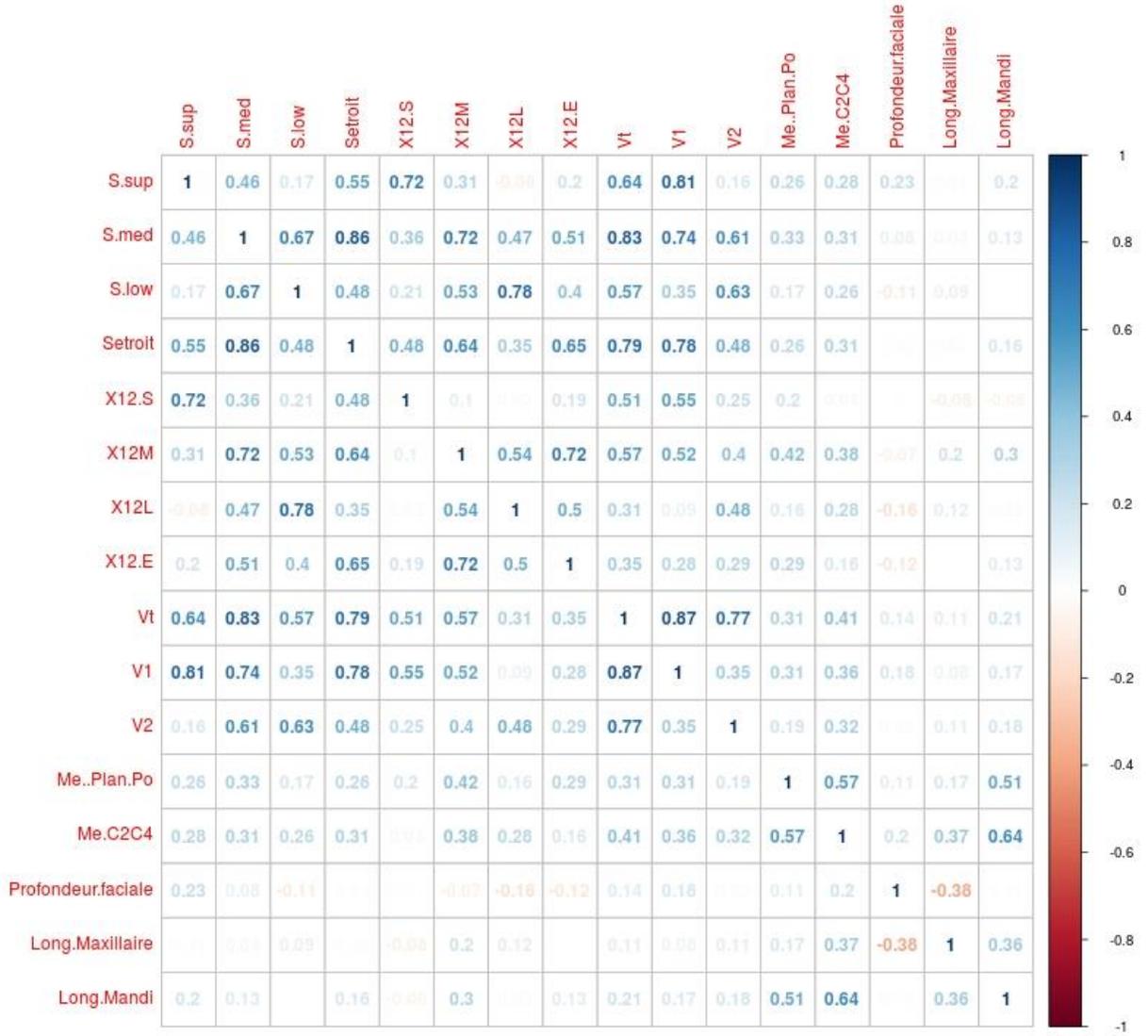
Annexe III. 4 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les variables de position de l'os hyoïde chez les enfants

Annexe III.5



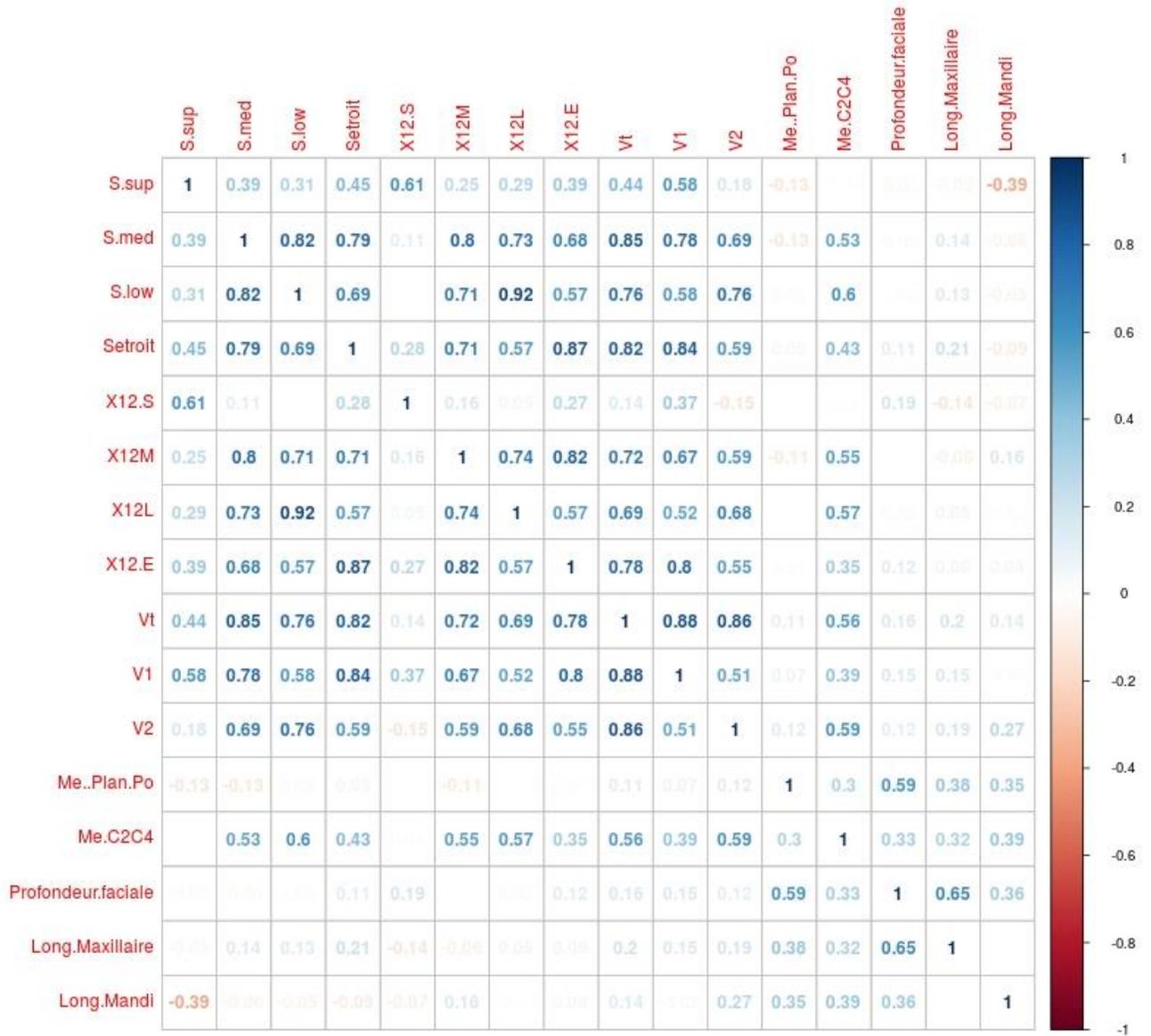
Annexe III. 5 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les variables de position de l'os hyoïde chez les adultes

Annexe III.6



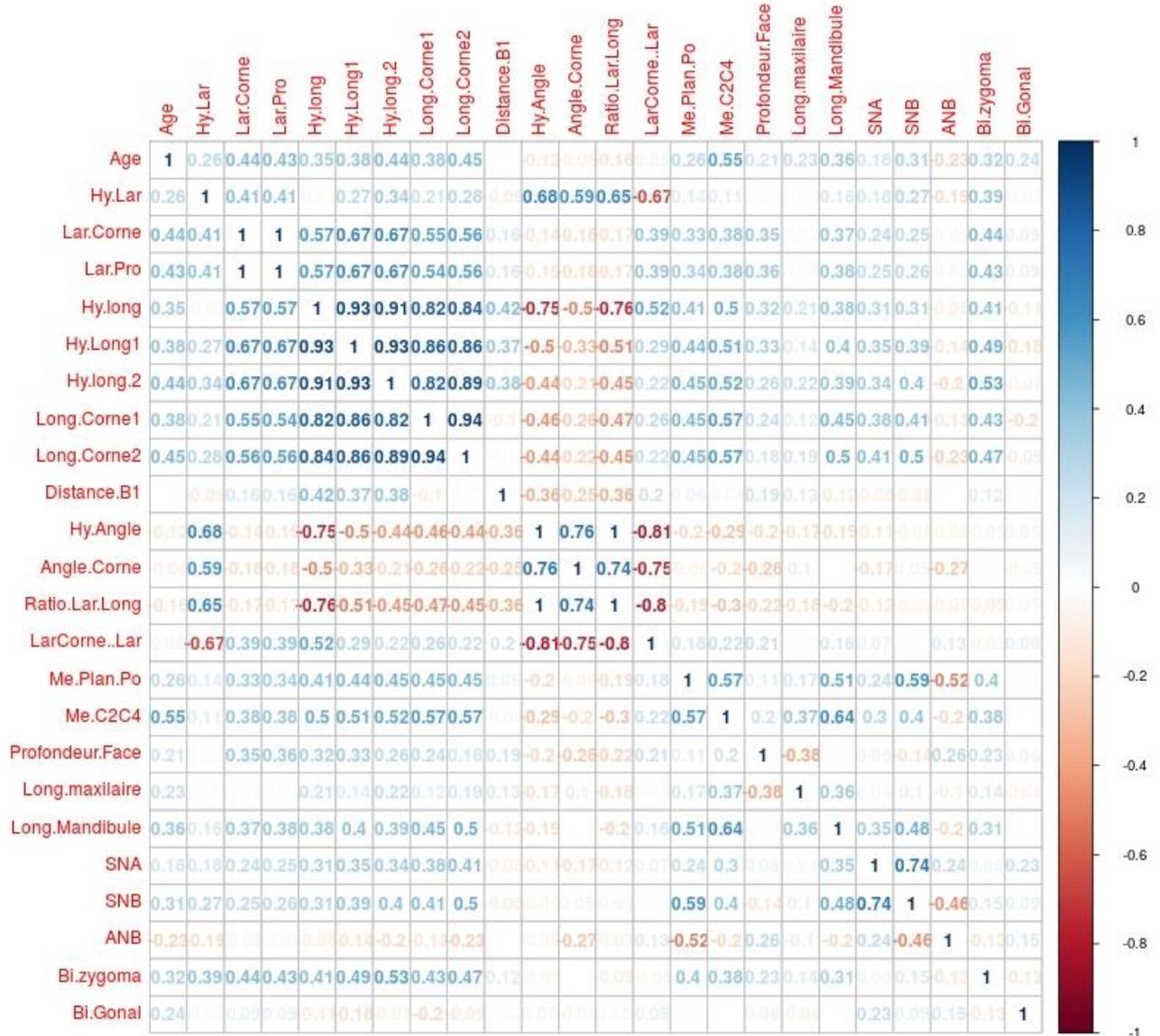
Annexe III. 6 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales sagittales chez les enfants

Annexe III.7



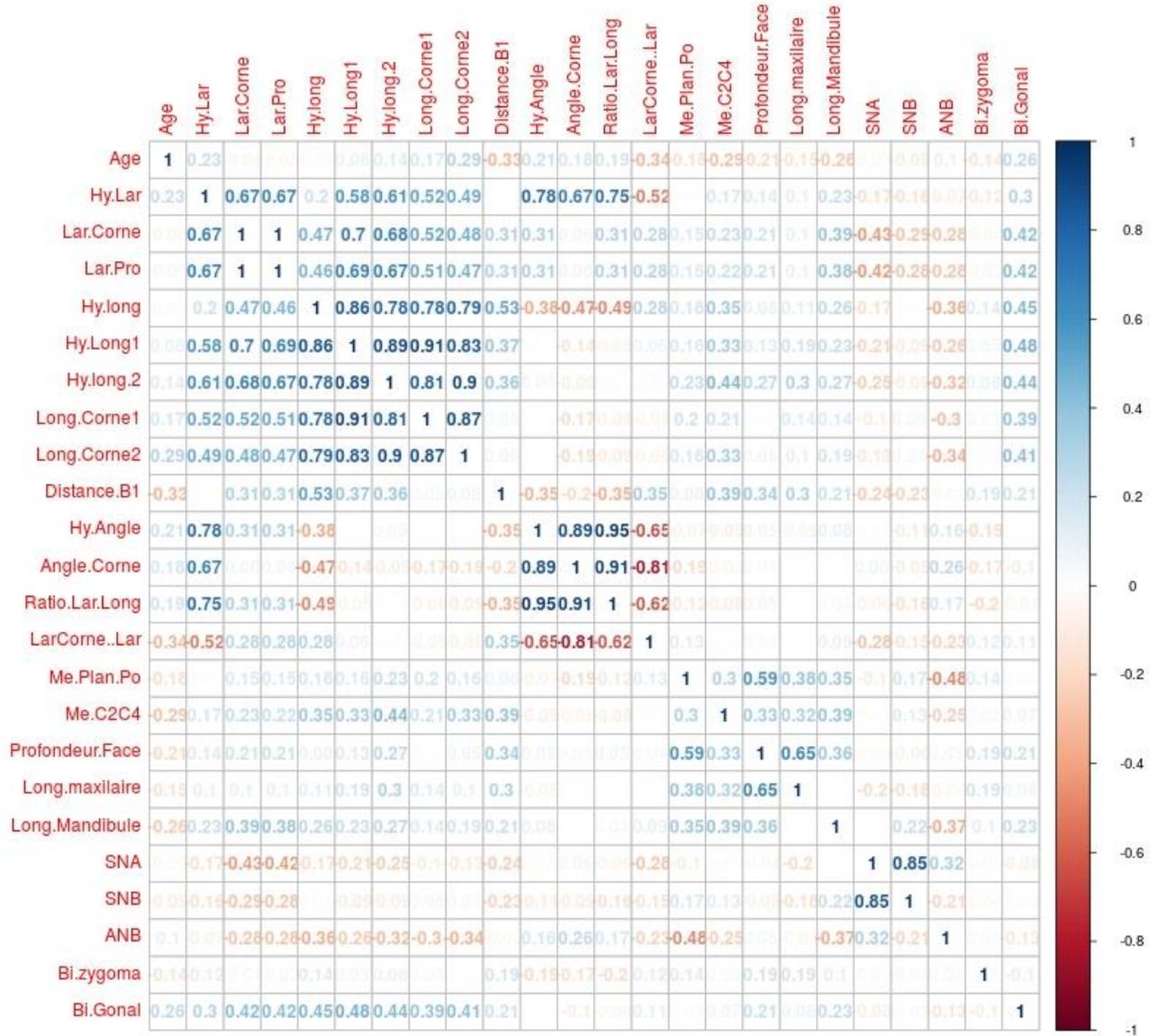
Annexe III. 7 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales sagittales chez les adultes

Annexe III.8



Annexe III. 8 : Coefficients de corrélations entre les dimensions de l'os hyoïde et les dimensions faciales sagittales chez les enfants

Annexe III. 9



Annexe III. 9 : Coefficients de corrélations entre les dimensions de l'os hyoïde et les dimensions faciales sagittales chez les adultes

Annexe III. 10

Sexe	Age	Type facial sagittal	Type facial vertical
F	8	Classe I	Mésodivergent
F	10	Classe I	Mésodivergent
F	10	Classe I	Hypodivergent
F	12	Classe I	Mésodivergent
F	12	Classe I	Mésodivergent
F	12	Classe I	Hyperdivergent
F	12	Classe I	Mésodivergent
F	13	Classe I	Mésodivergent
F	13	Classe I	Hypodivergent
F	13	Classe I	Hypodivergent
F	14	Classe I	Hyperdivergent
F	14	Classe I	Hypodivergent
F	14	Classe I	Hypodivergent
F	15	Classe I	Hyperdivergent
M	8	Classe I	Mésodivergent
M	10	Classe I	Mésodivergent
M	10	Classe I	Mésodivergent
M	11	Classe I	Hypodivergent
M	13	Classe I	Mésodivergent
M	13	Classe I	Hypodivergent
M	14	Classe I	Hyperdivergent
M	16	Classe I	Mésodivergent
M	16	Classe I	Mésodivergent
F	12	Classe II	Hyperdivergent
F	12	Classe II	Hyperdivergent
F	13	Classe II	Hypodivergent
F	13	Classe II	Mésodivergent
F	13	Classe II	Hyperdivergent
F	14	Classe II	Mésodivergent
F	16	Classe II	Mésodivergent
M	11	Classe II	Mésodivergent
M	13	Classe II	Mésodivergent
M	13	Classe II	Mésodivergent
M	14	Classe II	Hyperdivergent
M	14	Classe II	Mésodivergent
M	14	Classe II	Hyperdivergent
F	14	Classe III	Mésodivergent
F	15	Classe III	Mésodivergent
F	16	Classe III	Mésodivergent
F	16	Classe III	Hyperdivergent
F	16	Classe III	Mésodivergent
M	10	Classe III	Mésodivergent
M	12	Classe III	Mésodivergent
M	14	Classe III	Hyperdivergent

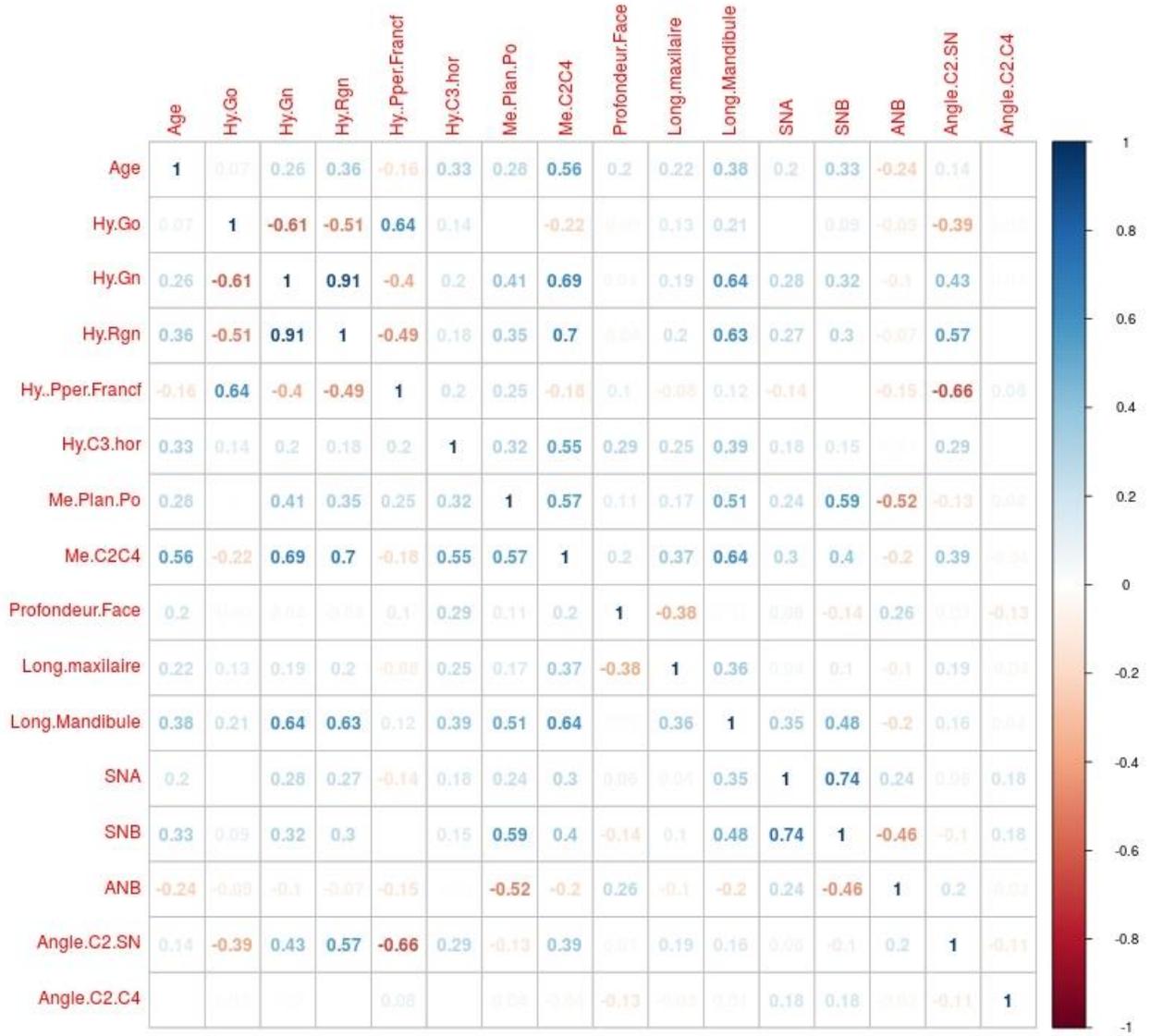
Annexe III. 10 : Types faciaux sagittal et vertical chez les enfants

Annexe III. 11

Sexe	Age	Type facial sagittal	Type facial verticale
F	39	Classe I	Mésodivergent
F	57	Classe I	Hyperdivergent
F	62	Classe I	Hyperdivergent
M	20	Classe I	Hyperdivergent
M	21	Classe I	Hyperdivergent
M	25	Classe I	Hypodivergent
M	27	Classe I	Hyperdivergent
M	27	Classe I	Hyperdivergent
M	29	Classe I	Hyperdivergent
M	35	Classe I	Hyperdivergent
F	20	Classe II	Mesodivergent
F	23	Classe II	Hypodivergent
F	24	Classe II	Hypodivergent
F	24	Classe II	Hyperdivergent
F	24	Classe II	Hypodivergent
F	25	Classe II	Mesodivergent
F	26	Classe II	Hyperdivergent
F	29	Classe II	Hyperdivergent
F	32	Classe II	Hyperdivergent
F	32	Classe II	Mesodivergent
F	32	Classe II	Mesodivergent
F	33	Classe II	Hyperdivergent
F	38	Classe II	Mesodivergent
F	40	Classe II	Mesodivergent
F	42	Classe II	Mesodivergent
F	43	Classe II	Mesodivergent
F	45	Classe II	Mesodivergent
F	46	Classe II	Hypodivergent
F	48	Classe II	Mesodivergent
F	48	Classe II	Hypodivergent
F	52	Classe II	Hypodivergent
F	58	Classe II	Mesodivergent
F	70	Classe II	Mesodivergent
M	25	Classe II	Mesodivergent
M	27	Classe II	Hyperdivergent
M	34	Classe II	Hyperdivergent
M	36	Classe II	Hyperdivergent
M	48	Classe II	Hyperdivergent
F	37	Classe III	Mesodivergent
F	44	Classe III	Mesodivergent
M	22	Classe III	Mesodivergent
M	47	Classe III	Mesodivergent

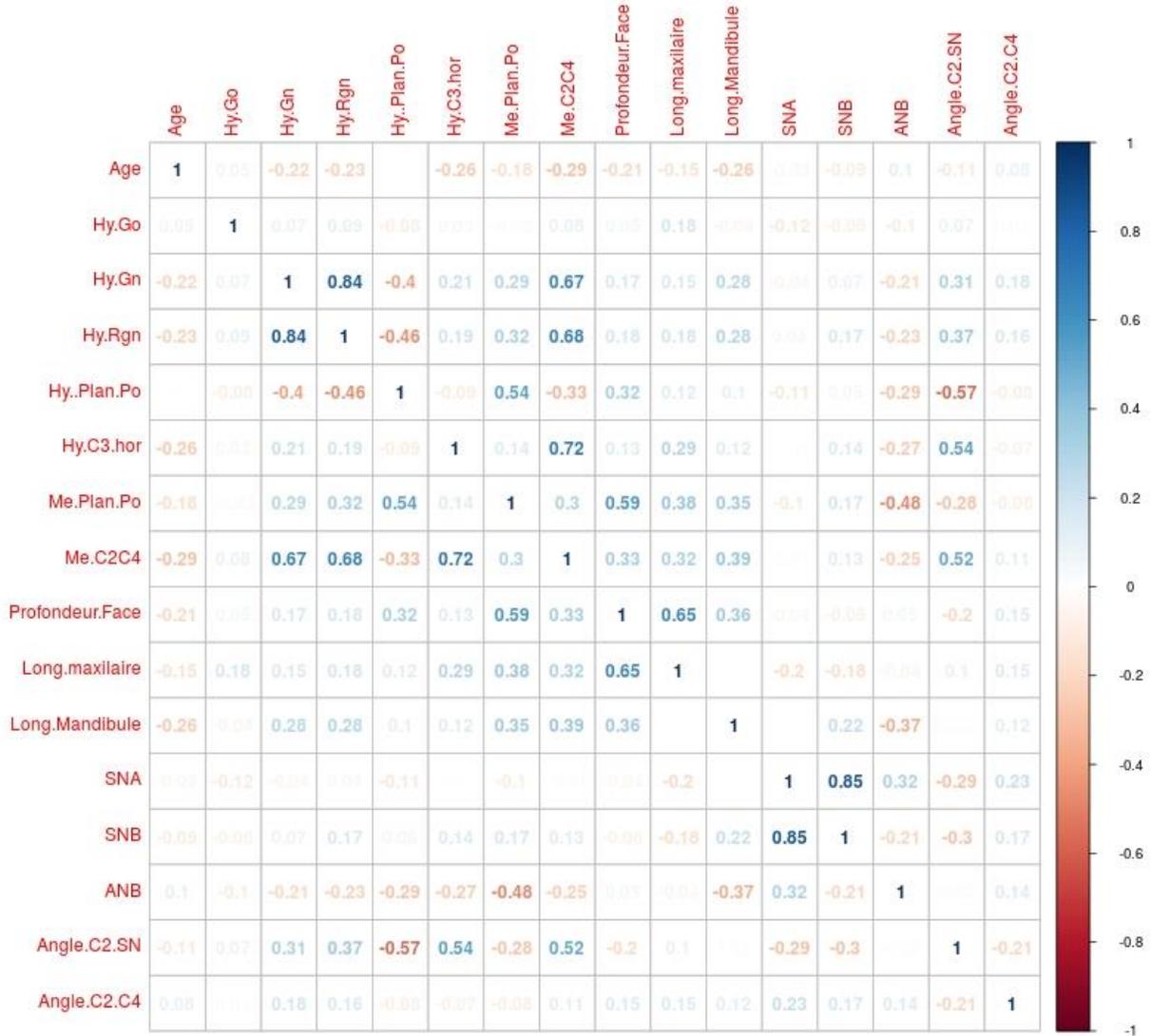
Annexe III. 11 : Types faciaux sagittal et vertical chez les adultes

Annexe III.12



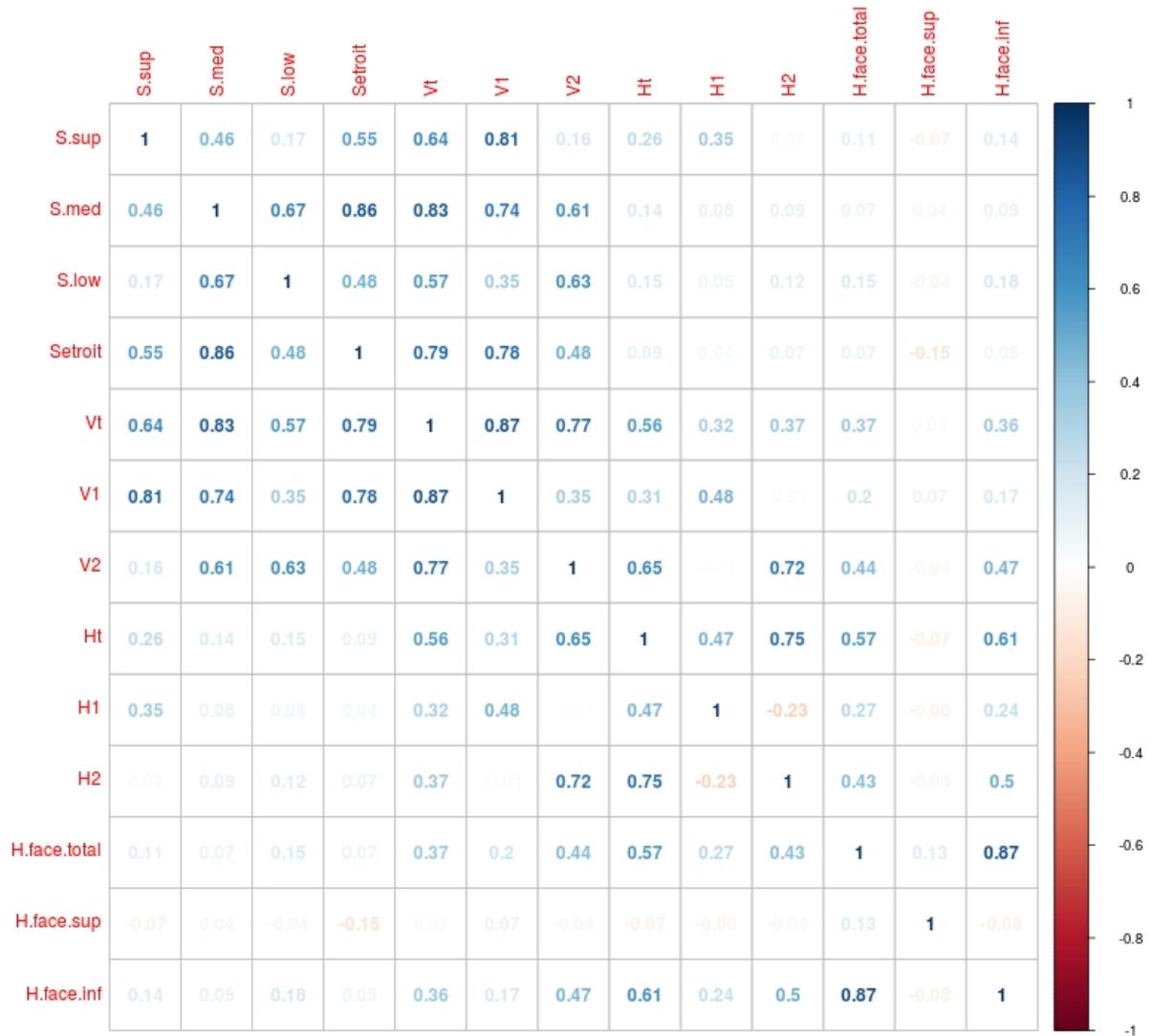
Annexe III. 12 : Coefficients de corrélations entre les positions horizontales de l'os hyoïde et les dimensions faciale sagittale chez les enfants

Annexe III.13



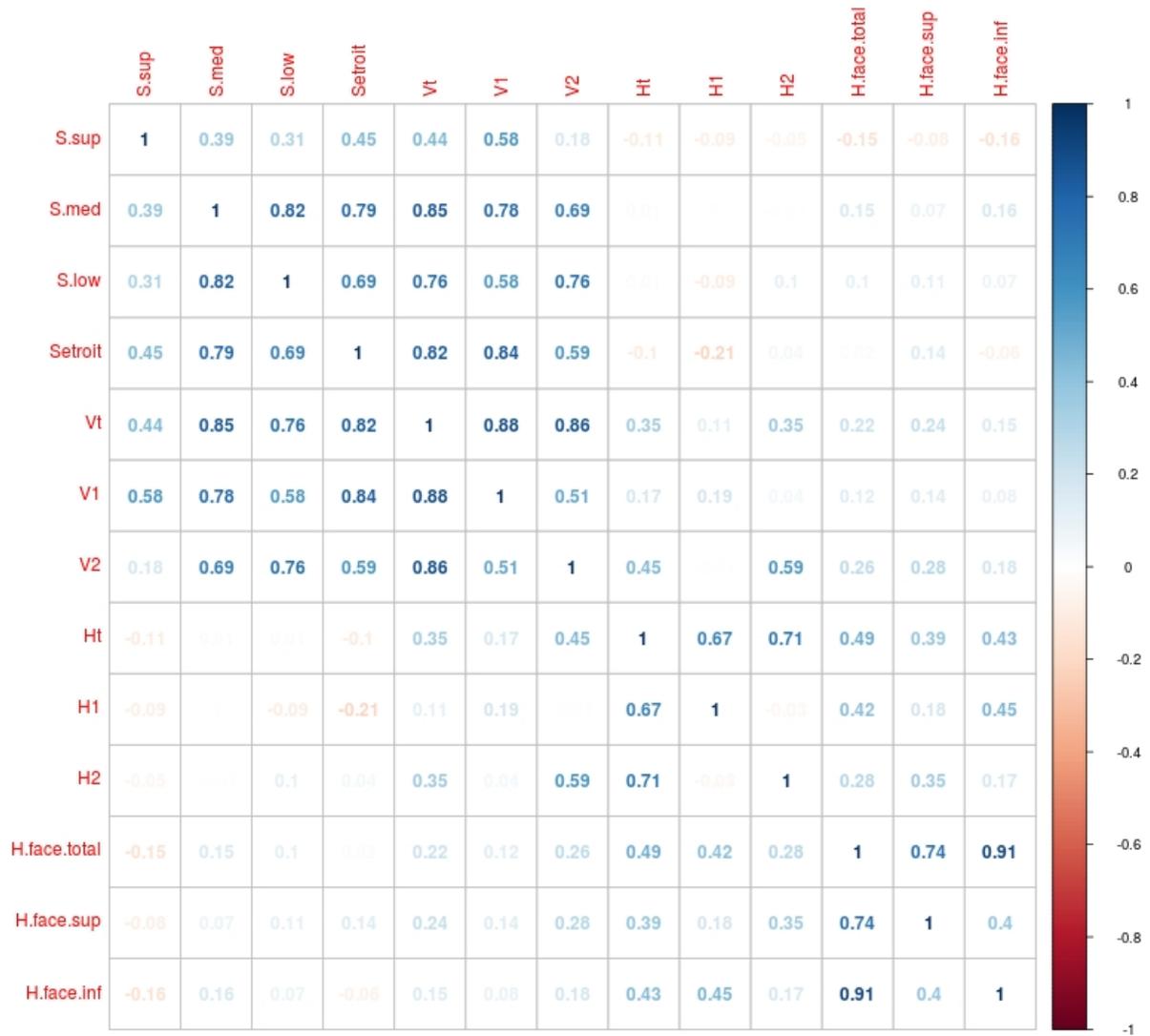
Annexe III. 13 : Coefficients de corrélations entre les positions horizontales de l'os hyoïde et les dimensions faciales sagittales chez les adultes

Annexe III.14



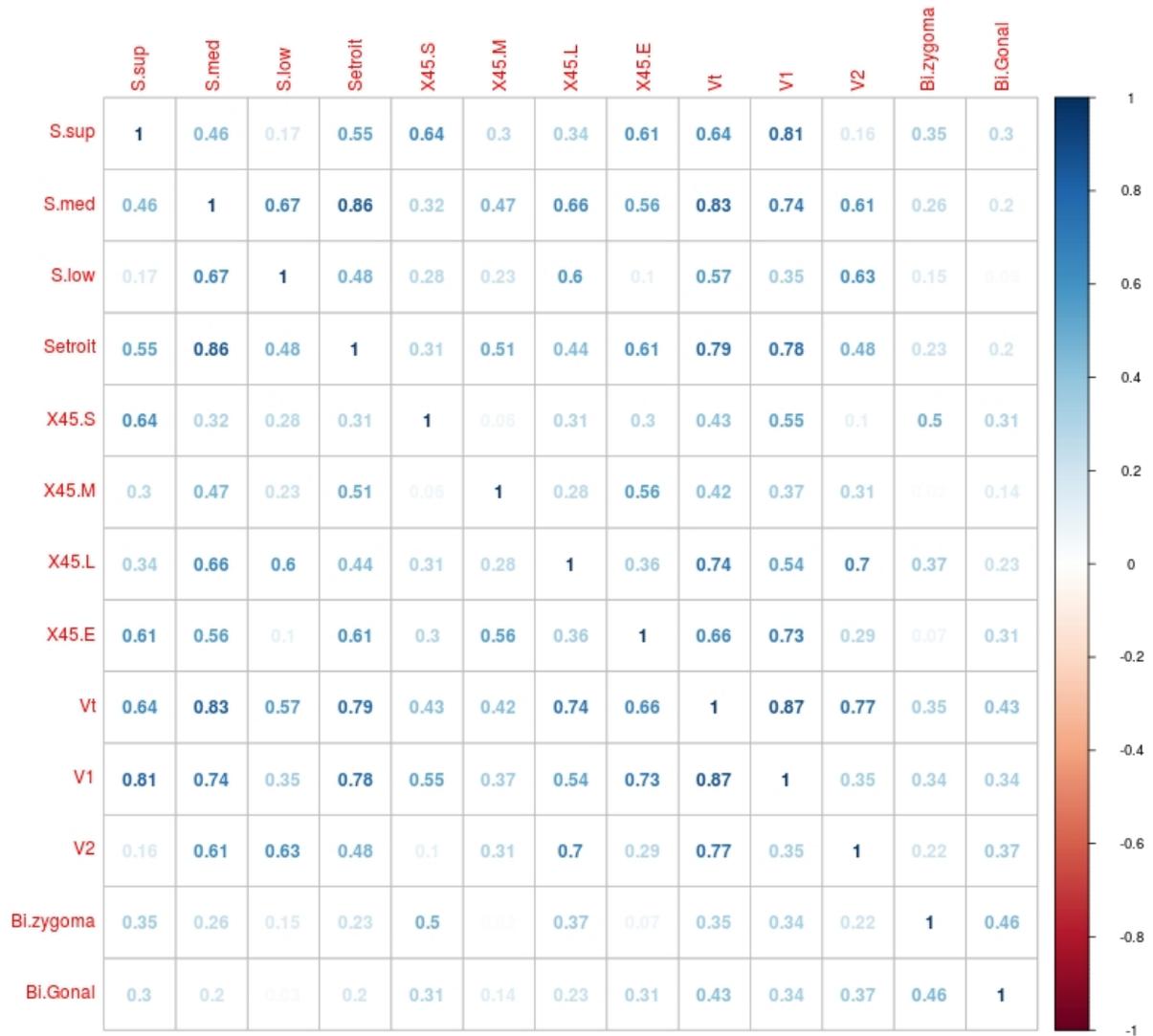
Annexe III. 14 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales verticales chez les enfants

Annexe III.15



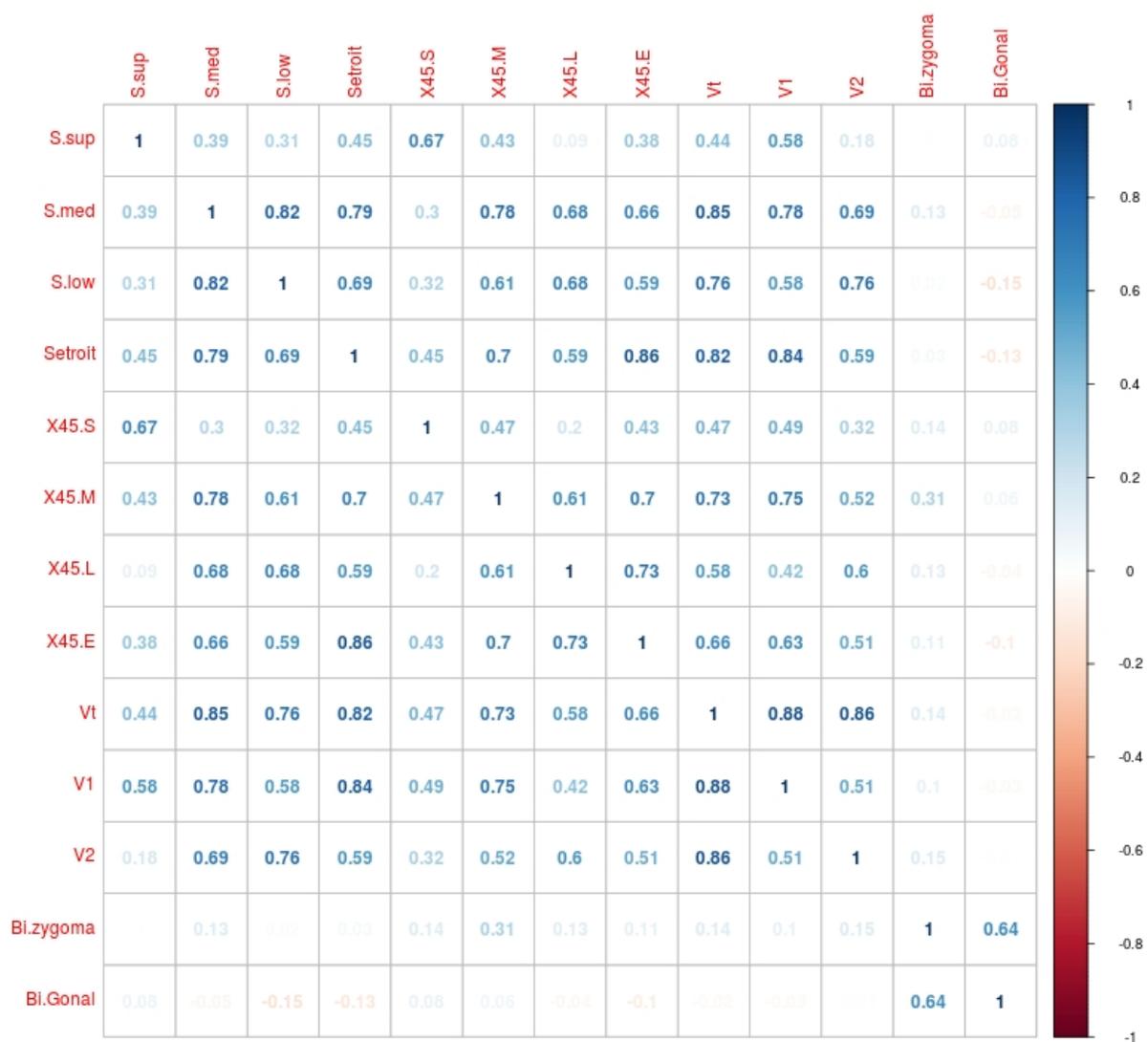
Annexe III. 15 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales verticales chez les adultes

Annexe III.16



Annexe III. 16 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales frontales chez les enfants

Annexe III.17



Annexe III. 17 : Coefficients de corrélations entre les dimensions des VAS et les dimensions faciales frontales chez les adultes

Titre : Étude tridimensionnelle de l'os hyoïde et de ses relations avec les voies aériennes supérieures (VAS). Influences des paramètres biologiques et des caractéristiques typologiques.

Résumé : Les variations affectant les dimensions et la forme de l'os hyoïde sont analysées chez le vivant à partir de tomodensitométries volumétriques en faisceau conique (CBCT) et complétées par des téléradiographies. Ces variations sont mises en relation avec différents paramètres biologiques (âge, sexe, population). La documentation regroupe 94 enfants et 83 adultes issus de 2 échantillons de populations, Française et Vietnamiennne. Pour la première fois, l'existence d'une croissance différentielle de l'os hyoïde entre filles et garçons est mise en évidence, en termes d'amplitude et de chronologie des modifications osseuses. Chez l'adulte, la fusion des grandes cornes au corps de l'os hyoïde intervient dans l'évolution des dimensions de l'os mais ce processus biologique ne présente aucune loi prédictive. Aucune différence significative de l'âge de cette fusion n'est observée entre hommes et femmes et les facteurs l'influençant restent inconnus. Des variations affectant les dimensions et la forme de l'os hyoïde entre populations sont identifiées. La classification de la morphologie de l'os hyoïde selon 6 catégories qui est proposée constitue un outil pour l'étude des séries archéologiques. Des corrélations significatives entre les dimensions de l'os hyoïde et les voies aériennes supérieures sont observées, confirmant leurs relations étroites et réciproques, tant anatomique que fonctionnelle. Tous ces paramètres, évalués dans différents types faciaux, montrent en revanche des manifestations plus complexes qui nécessitent plus de recherche pour affiner les résultats.

Mots clés : os hyoïde, VAS, CBCT, typologie faciale, SAOS, croissance, maturation, population

Title: Three-dimensional study of the hyoid bone and of its relationships with upper airway. Influences of biological parameters and facial types.

Abstract : In this study, variations of size, shape and position of the hyoid bone are analyzed with different biological parameters (age, sex, population) from Cone Beam CT and reconstituted radiographs of living people. The study sample includes 94 children and 83 adults from two populations French and Vietnamese. The results bring the first evidence of a differential growth of the hyoid bone between girls and boys in terms of magnitude and timing of bone changes. In adults, the fusion of the greater cornua with the hyoid body is involved in the dimensional changes of the bone but no significant influencing factor (like sex or population) for this biological process can be confirmed. Variations of dimension and shape of the hyoid bone between populations are identified. Within the study, a new morphological classification of the hyoid bone based on metric data is proposed. This classification distinguishes 6 categories of shape and constitutes a tool for studies of archaeological series. Significant correlations between dimensions and position of the hyoid bone and upper airways is observed, thus confirming their close mutual relationships, both anatomical and functional. All these parameters, analyzed in different facial types, show, however, a complex interaction that requires more research to refine the results.

Keywords : Hyoid bone, upper airway, facial typology, CBCT, SAOS, growth, maturation, population