

Volumes faciaux et typologie verticale : étude comparative tridimensionnelle

Nayla BASSIL-NASSIF^{1*}, Joseph BOUSERHAL¹, Robert GARCIA²

¹ Département d'Orthodontie, Faculté de Médecine Dentaire, Université Saint-Joseph, rue de Damas, B.P. 11-5076 Riad El Solh, Beyrouth, Liban

² Faculté de Médecine Dentaire, Paris VII, 5 rue Garancière, 75006 Paris, France

MOTS CLÉS :

Scanner 3D /
Volumes des cavités
cranio-faciales /
Hyperdivergent /
Hypodivergent

RÉSUMÉ – Introduction : Le but de cette étude est de comparer les volumes des cavités faciales entre les typologies hyperdivergente et hypodivergente dans une population adulte jeune. **Méthodes :** Les échantillons étaient formés de 30 sujets chacun, âgés de 18 à 30 ans, sélectionnés selon leur typologie verticale ($\text{GoGn-SN} \leq 28^\circ$ et $\geq 36^\circ$). À partir d'acquisitions scanners 3D et à l'aide du logiciel AMIRA[®], les mesures volumétriques des cavités orbitaires, ethmoïdo-nasale et buccale ont été effectuées à partir de points servant à les délimiter, alors que les deux sinus maxillaires ont été directement segmentés coupe par coupe, puis reconstruits et leurs volumes calculés. Le test Kolmogorov-Smirnov a été utilisé pour démontrer la normalité des variables, suivi du test « t » de Student pour la comparaison des moyennes ($p < 0,05$). **Résultats :** La comparaison des volumes des différentes cavités entre les deux groupes hypodivergent et hyperdivergent n'a montré aucune différence significative au niveau des valeurs absolues ; seul le rapport du volume de la cavité nasale/volume total s'est avéré plus petit chez les hypodivergents. **Conclusion :** Un phénomène de compensation pourrait survenir entre les trois directions de croissance pour équilibrer un déficit ou un excès de la dimension verticale, ce qui maintiendrait constant le volume des cavités faciales étudiées.

KEYWORDS:

CT Scan /
Craniofacial cavity volume /
Long-face /
Short-face

ABSTRACT – Facial volumes and vertical facial type: A three dimensional comparative study. Introduction: The purpose of this study was to compare the volume of facial cavities in untreated young subjects with long- and short-faces. **Methods:** Two groups of thirty subjects each, one with low ($\text{GoGn-SN} \leq 28^\circ$), and the other with high ($\text{GoGn-SN} \geq 36^\circ$) mandibular plane angles, ages between 18 to 30 years, were selected. For each subject, volumes of orbital, sinusal and buccal cavities were measured from CT scans with the AMIRA[®] software. The statistical studies were performed using Kolmogorov-Smirnov, followed by Student "t" test ($p < 0.05$). **Results:** Results suggest that there is no statistically significant difference between the volume of facial cavities in long- and short-face subjects. Only the ratio of nasal cavity volume to the total volume is significantly smaller in the short-face group. **Conclusion:** A compensatory phenomenon might exist between the three directions of growth to equilibrate an excess or deficit of the vertical dimension, thus maintaining constant the volume of facial cavities.

1. Introduction

En céphalométrie 2D, deux typologies faciales ont été décrites, l'hyperdivergence et l'hypodivergence. Cliniquement, l'hyperdivergence est associée à un étage inférieur de la face excessif par rapport à

l'étage supérieur ; le contraire étant vrai pour l'hypodivergence. Les raisons de ces disproportions faciales sont très complexes et peuvent être l'association d'une multitude de facteurs agissant durant la croissance. Ceux-ci ont suscité l'intérêt des chercheurs depuis le 18^e siècle avec les travaux de Hunter, et

* Auteur pour correspondance : nbassilnassif@yahoo.com

ce n'est qu'au début du 20^e siècle que différentes théories ont vu le jour allant de celle remodelante de Brash [3], à celle suturale de Weinmann et Sicher [30] ainsi qu'à la théorie du septum nasal de Scott [29]. Elles ont mis en avant la prédominance de l'hérédité et l'importance des gènes dans la croissance cranio-faciale, jusqu'à l'arrivée de Moss avec sa théorie de « la matrice fonctionnelle » [3]. C'est l'un des premiers auteurs qui ait donné une place importante à l'environnement non squelettique dans la croissance cranio-faciale, la matrice fonctionnelle étant constituée des tissus, organes et espaces fonctionnels nécessaires à l'accomplissement d'une fonction. Ainsi, au niveau de l'étage inférieur de la face, s'exerce la supériorité morphogénétique de la capsule oro-faciale fonctionnelle qui, en réponse à la croissance des cavités orale, nasale et pharyngée, transporte la mandibule vers le bas et l'avant. Ceci va disjoindre l'articulation cranio-mandibulaire qui répond secondairement par une croissance cartilagineuse condylienne [20, 23]. Certains auteurs ont décrit aussi une relation entre la ventilation et la croissance cranio-faciale [21, 22, 31, 33, 34], réfutée par d'autres [12]. Il y aurait donc probablement, vu l'interaction décrite, une relation entre les différents volumes faciaux.

La notion de volume est primordiale lorsqu'on étudie les cavités faciales et leur croissance puisque celle-ci se fait dans les trois sens de l'espace. Les techniques radiographiques en 2D ont permis d'étudier les os de la face et les cavités aériennes en ne prenant en considération que deux des trois sens à la fois. Sur une téléradiographie, le crâne étant projeté sur un plan, il est possible de mesurer des angles et des distances en rapport avec ces cavités, mais pas leurs volumes [7, 19]. Ce n'est qu'avec l'arrivée des techniques d'imagerie tridimensionnelle qu'on a pu mesurer les volumes avec plus de précision, et ceci dans différents domaines médicaux.

En orthopédie dento-faciale, des constructions céphalométriques 3D commencent à être mises au point [4, 8-11], en utilisant différents logiciels informatiques, et plusieurs études ont été menées notamment sur le changement de la morphologie faciale durant la croissance [14, 18], les volumes des dents et leur centre de résistance [24], les volumes des muscles masticateurs [27] ainsi que récemment, sur les mesures volumétriques des bases osseuses maxillaires et des cavités aériennes de la face [5, 6].

Notre étude vise à mesurer, à partir d'acquisitions scanners, les volumes des cavités orbitaires, du complexe ethmoïdo-nasal, de la cavité buccale et des sinus maxillaires sur deux échantillons de sujets adultes jeunes, l'un présentant une typologie faciale verticale hyperdivergente et l'autre hypodivergente, ceci à l'aide du logiciel AMIRA[®]. Nous rechercherons les relations pouvant être mises en évidence entre les différents volumes au sein d'un même échantillon et entre les deux typologies étudiées.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel

2.1.1. Échantillon

L'échantillon est formé de 60 sujets adultes jeunes, âgés entre 18 et 30 ans, avec une denture permanente complète et n'ayant pas bénéficié de traitement orthodontique préalable. Ces sujets ont été sélectionnés suivant leur typologie verticale, évaluée sur une téléradiographie de profil effectuée au département de radiologie de la faculté de médecine dentaire (Université Saint-Joseph, Beyrouth, Liban) avec le même appareil et dans des conditions identiques. La variable utilisée est l'angle GoGn-SN de Steiner (GoGn représentant le plan mandibulaire et SN le plan crânien) dont la valeur normale est de 32° [32]. Pour les sujets hypodivergents, cet angle doit être inférieur à 28° et, pour les hyperdivergents, supérieur à 36° (28° et 36° inclus).

N'ont pas été inclus, les sujets normodivergents, ou présentant une pathologie sinusienne avec encombrement, des séquelles de traumatisme osseux au niveau des maxillaires, ou encore des syndromes pouvant causer une déformation squelettique.

Deux groupes, de 30 sujets chacun, ont ainsi pu être constitués, chacun d'eux étant formé à égalité des deux sexes. Chez les hypodivergents, la valeur de l'angle GoGn-SN a varié entre 20,5° et 28°, et chez les hyperdivergents entre 36° et 50°. Des acquisitions scanners ont été effectuées après consentement des sujets inclus.

2.1.2. Recueil de l'information

Les examens scanners, qui sont traités dans le cadre de l'étude, sont obligatoirement effectués au service d'Imagerie Médicale AMI, avec le même appareil Helical CT scanner « Philips Tomoscan AV », l'épaisseur des coupes étant de 1 mm.

Tableau 1
Points de repère localisés.

FSOD	Partie supérieure du Foramen Supra Orbitaire Droit
FIOD	Partie supérieure du Foramen Infra Orbitaire Droit
CED	Canthus Externe Droit ou suture fronto-zygomatique
CLND	Orifice supérieur du Canal Lacrymo-Nasal Droit
COD	Partie supérieure de l'orifice du Canal Optique Droit
FSOG	Partie supérieure du Foramen Supra Orbitaire Gauche
FIOG	Partie supérieure du Foramen Infra Orbitaire Gauche
CEG	Canthus Externe Gauche
CLNG	Orifice supérieur du Canal Lacrymo-Nasal Gauche
COG	Partie supérieure de l'orifice du Canal Optique Gauche
FGPD	Partie antéro-médiane du Foramen Grand Palatin Droit
FGPG	Partie antéro-médiane du Foramen Grand Palatin Gauche
FNP	Partie antéro-médiane du Foramen Naso-Palatin
PS	Partie la plus inféro-antérieure de la Pointe Symphysaire
GD	Partie la plus inféro-postérieure, en vue latérale, du Gonion Droit
GG	Partie la plus inféro-postérieure, en vue latérale, du Gonion Gauche

Les données numériques des coupes natives sont enregistrées en format DICOM (Digital Imaging for COmmunication in Medicine). C'est un format universel permettant l'échange des données qui peuvent être exportées sur un support informatique adapté pour être traitées à l'aide du logiciel AMIRA® permettant, ainsi, la production de l'imagerie et de la biométrie 3D des éléments anatomiques.

2.2. Méthodes

2.2.1. Localisation des points

Les cavités faciales étudiées sont les deux cavités orbitaires, la cavité ethmoïdo-nasale, la cavité buccale et les deux sinus maxillaires. Le logiciel utilisé nous a permis de choisir des points servant à délimiter ces cavités, à l'exception des sinus maxillaires.

Ces points de repères sont localisés sur la reconstitution tridimensionnelle et leurs coordonnées identifiées à l'aide du logiciel AMIRA® (Tab. 1) :

- La cavité orbitaire droite est représentée par 5 points : FSOD, FIOD, CED, CLND, COD formant un cône à sommet postérieur (Fig. 1, 4 et 5).
- Il en est de même pour la cavité orbitaire gauche représentée par FSOG, FIOG, CEG, CLNG et COG.
- La cavité ethmoïdo-nasale est représentée par 7 points : COD, COG, FIOD, FIOG, FGPG, FGPD et FNP (Fig. 2, 4 et 5).

- La cavité buccale est représentée par 6 points : FGPG, FGPD, FNP, GG, GD et PS (Fig. 3, 4 et 5).
- Les sinus (S) sont directement segmentés coupe par coupe, puis reconstruits et leurs volumes calculés (Fig. 6).

La procédure de localisation des points anatomiques de repère a été exécutée une deuxième fois, dans un intervalle de deux mois, par le même opérateur, sur 20 scanners (10 hyper- et 10 hypodivergents) choisis au hasard afin de pouvoir calculer l'erreur intra-opérateur.

2.2.2. Calcul des volumes

Les coordonnées X, Y et Z de chaque point sélectionné sont indiquées par le logiciel AMIRA®. Elles ont servi à calculer les volumes construits, en cm³, des différentes cavités à l'aide d'un logiciel de calcul mis au point par un informaticien à cet effet. Les volumes des sinus maxillaires sont directement fournis par le logiciel AMIRA® puisque ceux-ci ont été segmentés. La somme des volumes des cavités orbitaires, ethmoïdo-nasale, buccale et des sinus maxillaires forme le volume total des cavités faciales étudiées.

Ainsi, les volumes des cavités de chaque sujet et le volume global des cavités faciales sont prêts pour l'étude statistique.

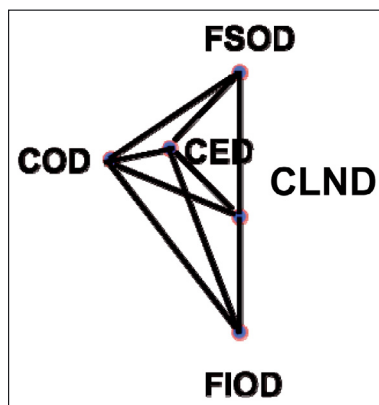


Figure 1

Représentation de la cavité orbitaire droite par ses 5 points. Vue de profil.

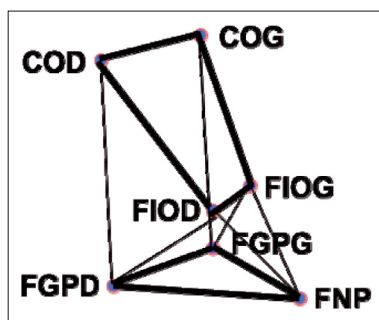


Figure 2

Représentation de la cavité ethmoïdo-nasale par ses 7 points. Vue de profil.

2.2.3. Analyse statistique

L'échantillon comporte 60 sujets choisis aléatoirement. L'étude statistique est faite avec un risque d'erreur α de 5 % et une puissance de 80 %.

Une analyse descriptive de l'échantillon est faite à partir des données recueillies sur les 60 examens scanners analysés.

Les quatre variables, que sont les volumes des cavités orbitaires, des sinus maxillaires, de la cavité ethmoïdo-nasale et de la cavité buccale, sont comparées entre les deux groupes hyper- et hypodivergent.

Le test Kolmogorov-Smirnov a été utilisé pour démontrer la normalité des variables, puis le test « *t* » de Student pour la comparaison des moyennes des différentes variables.

Les tests ont été réalisés avec le logiciel de statistiques SPSS® version 15. Chaque test a été considéré significatif lorsque $p < 0,05$.

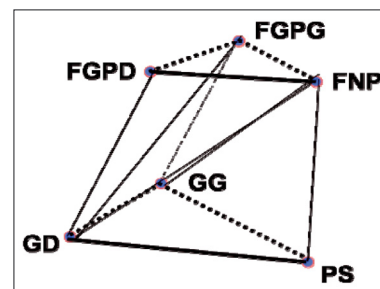


Figure 3

Représentation de la cavité buccale par ses 6 points. Vue de profil.

L'erreur intra-opérateur, calculée en appliquant l'*Intraclass Correlation Coefficient* (ICC), n'a pas montré de différence significative entre les deux mesures faites.

3. Résultats

Les valeurs moyennes et les écarts-types des quatre volumes recherchés ainsi que ceux du volume global ont été calculés dans les deux groupes. De même, les rapports de chacun des volumes de ces cavités sur le volume total ont été trouvés, ainsi que leurs moyennes et écarts-types.

Les comparaisons des différentes cavités entre les deux groupes hypodivergent et hyperdivergent ont montré (Tab. 2) :

- Au niveau du volume global des cavités orbitaires droite et gauche ($p = 0,197 > 0,05$) : pas de différence significative.
- Au niveau du volume de la cavité nasale ($p = 0,135 > 0,05$) : pas de différence significative.
- Au niveau du volume de la cavité buccale ($p = 0,382 > 0,05$) : pas de différence significative.
- Au niveau du volume global des sinus maxillaires droit et gauche ($p = 0,669 > 0,05$) : pas de différence significative.
- Au niveau du volume total des différentes cavités étudiées ($p = 0,816 > 0,05$) : pas de différence significative.

Concernant les rapports des volumes de chacune des cavités sur le volume total, nous n'avons pas trouvé de différence significative entre les deux groupes pour les variables volume orbitaire/volume total ($p = 0,078 > 0,05$), volume buccal/volume total ($p = 0,369 > 0,05$) et volume sinusal/volume total ($p = 0,646 > 0,05$). Par contre, la seule différence significative a été trouvée au niveau du volume

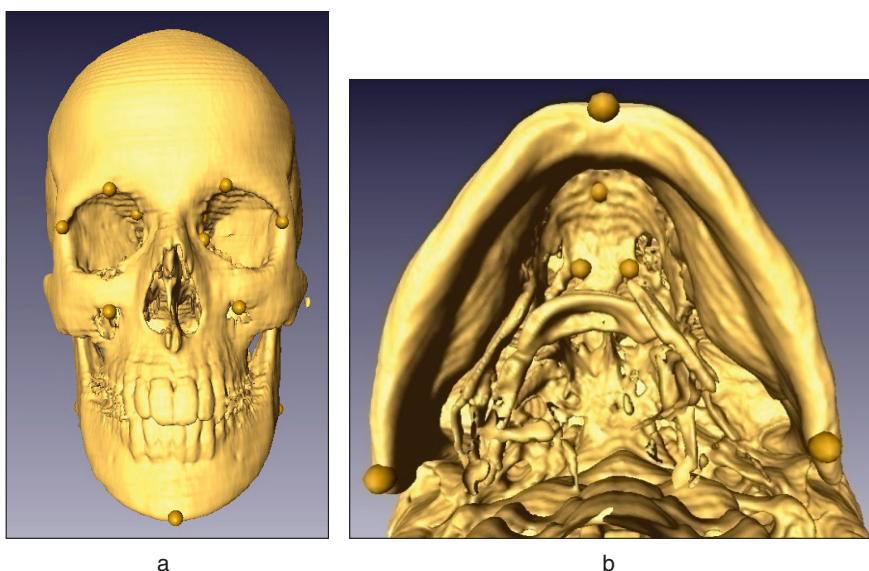


Figure 4

Positionnement des points sur la reconstruction 3D en vue de face (a) et vue inférieure (b).

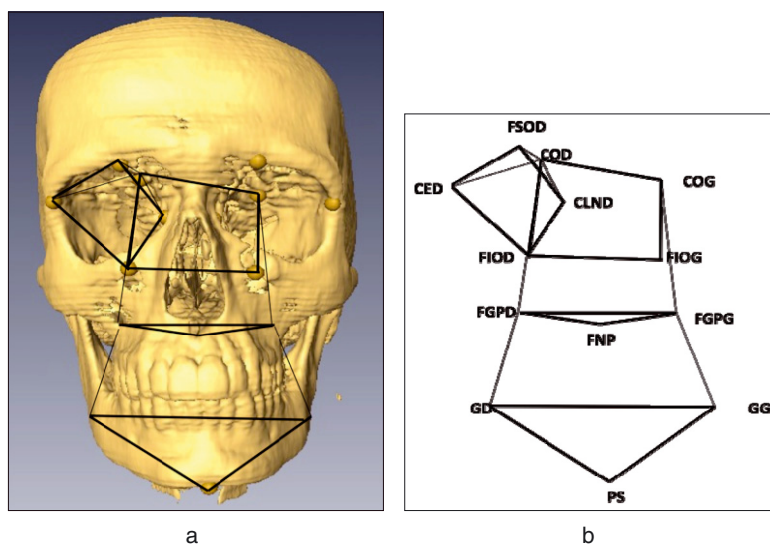


Figure 5

(a) Localisation des points, sur la reconstruction en 3D de face, et schématisation des volumes des cavités orbitaire, ethmoïdo-nasale et buccale. (b) Modèle géométrique délimitant les cavités orbitaire, ethmoïdo-nasale et buccale.

de la cavité nasale/volume total, le rapport du groupe hypodivergent étant plus petit que celui de l'hyperdivergent ($p = 0,018 < 0,05$).

Par ailleurs, nous avons relevé, à partir des échantillons, deux sous-groupes constitués de sujets ayant les valeurs les plus extrêmes de l'angle GoGn-SN (Tab. 3). Les moyennes des sous-groupes extrêmes ont été comparées au niveau de toutes les variables ainsi que les moyennes des rapports des variables sur

le volume total. Nous avons obtenu les mêmes résultats qu'au niveau des échantillons initiaux, ce qui certifie la bonne représentativité de notre sélection (Tab. 4).

Des mesures linéaires ont été, par la suite, effectuées au niveau de chaque cavité dans les trois sens : sagittal, transversal et vertical et les rapports correspondants calculés et comparés dans le but d'essayer de situer l'axe responsable des résultats

Tableau 2

Statistiques descriptives et comparaison des volumes entre les deux groupes hypo- et hyperdivergent.

	Groupe	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	<i>p</i>
GoGn/SN	Hypodivergent	30	20,5	28,0	25,217	2,2957	
	Hyperdivergent	30	36,0	50,0	38,683	2,8602	
Volume cavités orbitaires	Hypodivergent	30	5,644	24,599	19,35870	4,462913	0,197
	Hyperdivergent	30	8,056	29,265	17,66283	5,535130	
Volume cavité ethmoïdo-nasale	Hypodivergent	30	22,842	44,297	32,87883	5,658836	0,135
	Hyperdivergent	30	27,509	51,247	35,26733	6,527493	
Volume cavité buccale	Hypodivergent	30	59,209	129,641	86,56183	17,351243	0,382
	Hyperdivergent	30	54,399	108,224	83,13697	12,308790	
Volume sinus maxillaires	Hypodivergent	30	19,683	49,845	36,01249	7,355771	0,669
	Hyperdivergent	30	13,494	62,231	37,09958	11,745380	
Volume total	Hypodivergent	30	123,483	239,712	174,81510	29,847900	0,816
	Hyperdivergent	30	130,600	230,027	173,16738	24,541735	
V. cavités orbitaires/v. total	Hypodivergent	30	0,055	0,232	0,11466	0,030575	0,078
	Hyperdivergent	30	0,047	0,150	0,10144	0,026325	
V. cavité ethmoïdo-nasale/v. total	Hypodivergent	30	0,136	0,226	0,18908	0,019565	0,018
	Hyperdivergent	30	0,158	0,281	0,20426	0,028071	
V. cavité buccale/v. total	Hypodivergent	30	0,429	0,541	0,49375	0,031026	0,369
	Hyperdivergent	30	0,298	0,571	0,48305	0,056619	
V. sinus maxillaires/ v.total	Hypodivergent	30	0,148	0,251	0,20646	0,027806	0,646
	Hyperdivergent	30	0,079	0,310	0,21124	0,049356	

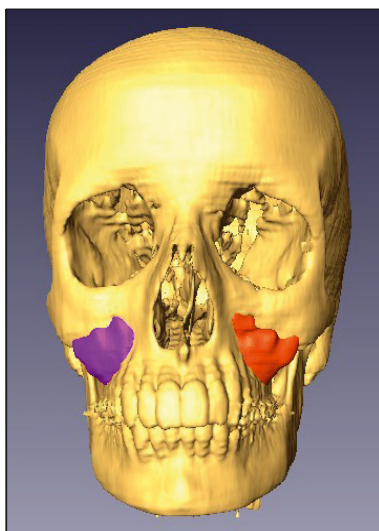


Figure 6

Vue de face de la reconstruction en 3D avec les sinus segmentés.

comparatifs volumétriques obtenus précédemment. Une différence significative a été trouvée au niveau des distances verticales (FSOD-FIOD : $p = 0,012$; FSOG-FIOG : $p = 0,002$; COD-FGPD : $p = 0,003$; COG-FGPG : $p = 0,008$; FIOG-FNP : $p = 0,007$) et sagittales (CLND-COD : $p = 0,004$; CLNG-COG : $p = 0,006$; CEG-COG : $p = 0,01$; FIOD-COD : $p = 0,02$; FIOG-COG : $p = 0,049$) des orbites et des

cavités nasales aussi bien droites que gauches entre les deux groupes hypo- et hyperdivergent. Quant aux rapports effectués, une différence significative a été trouvée au niveau des rapports : distance verticale postérieure de la cavité nasale / distance verticale totale, à droite et gauche (COD-FGPD/COD-GD : $p = 0,003$; COG-FGPG/COG-GG : $p = 0,012$) et distance verticale postérieure de la cavité buccale / distance verticale totale, à droite et gauche (FGPD-GD/COD-GD : $p = 0,003$; FGPG-GG/COG-GG : $p = 0,017$). En comparant les moyennes de ces distances et rapports entre les deux groupes, nous avons trouvé que la moyenne des valeurs sagittales était plus grande chez les hypodivergents alors que celle des valeurs verticales plus petite, tandis qu'au niveau des rapports, celui de la cavité nasale était plus petit chez les hypodivergents alors que celui de la cavité buccale plus grand (Tab. 5-9).

4. Discussion

4.1. Méthode

L'utilisation des acquisitions scanners 3D et du logiciel AMIRA[®] a eu plusieurs avantages. À part la possibilité de calculer des volumes, cette méthode élimine le risque d'erreur inhérent aux distorsions et agrandissements des images radiologiques, ainsi

Tableau 3
 Distribution de l'échantillon.

GoGn - SN	Hypodivergents				Norme 32 (30-34)	Hyperdivergents			
	≤ 24 (-4DS)	24 < x ≤ 26 (-3DS)	26 < x ≤ 28 (-2DS)	28 < x < 30 (-1DS)		34 < x < 36 (+1DS)	36 ≤ x < 38 (+2DS)	38 ≤ x < 40 (+3DS)	≥ 40 (+4DS)
Nbre de sujets	11	7	12	0		0	13	9	8

 Tableau 4
 Statistiques descriptives et comparaison des volumes entre les deux groupes hypo- et hyperdivergent extrêmes.

	Groupe	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	p
GoGn/SN	Hypodivergent	11	20,5	24,0	22,77	1,19	
	Hyperdivergent	8	40,0	50,0	42,25	3,28	
Volume cavités orbitaires	Hypodivergent	11	18,377	24,100	20,84991	2,119099	0,576
	Hyperdivergent	8	8,254	29,265	19,72375	6,124563	
Volume cavité ethmoïdo-nasale	Hypodivergent	11	22,842	42,254	33,94345	6,045615	0,056
	Hyperdivergent	8	27,509	51,247	40,67863	8,305035	
Volume cavité buccale	Hypodivergent	11	65,276	111,594	90,74318	16,975758	0,508
	Hyperdivergent	8	54,399	97,800	85,72388	14,400686	
Volume sinus maxillaires	Hypodivergent	11	27,075	49,094	38,12306	6,435912	0,734
	Hyperdivergent	8	13,494	62,231	40,19613	15,813058	
Volume total	Hypodivergent	11	134,317	219,909	183,65960	26,783072	0,827
	Hyperdivergent	8	154,603	230,027	186,32500	24,531101	
V. cavités orbitaires/v. total	Hypodivergent	11	0,098	0,232	0,12490	0,037854	0,229
	Hyperdivergent	8	0,047	0,136	0,10525	0,027316	
V. cavité ethmoïdo-nasale/v. total	Hypodivergent	11	0,155	0,209	0,18463	0,016795	0,042
	Hyperdivergent	8	0,178	0,281	0,21834	0,037611	
V. cavité buccale/v. total	Hypodivergent	11	0,442	0,534	0,49190	0,033996	0,412
	Hyperdivergent	8	0,298	0,571	0,571	0,085520	
V. sinus maxillaires/v. total	Hypodivergent	11	0,157	0,249	0,20858	0,026559	0,879
	Hyperdivergent	8	0,079	0,310	0,21203	0,068252	

 Tableau 5
 Statistiques descriptives et comparaison des mesures linéaires de la cavité orbitaire entre les deux groupes hypo- et hyperdivergent.

	Groupe	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	p
FSOD-FIOD (vertical cavité orbitaire droite)	Hypodivergent	30	3,796	5,185	4,41173	0,301473	0,012
	Hyperdivergent	30	3,960	5,356	4,62810	0,342937	
CED-CLND (transversal cavité orbitaire droite)	Hypodivergent	30	3,628	4,468	4,09907	0,189702	0,664
	Hyperdivergent	30	3,692	4,631	4,07590	0,219728	
CED-COD (sagittal externe cavité orbitaire droite)	Hypodivergent	30	3,042	4,923	4,22350	0,454914	0,082
	Hyperdivergent	30	3,105	5,160	3,99783	0,529333	
CLND-COD (sagittal interne cavité orbitaire droite)	hypodivergent	30	2,648	4,583	3,85310	0,459149	0,004
	Hyperdivergent	30	1,837	4,363	3,35430	0,770930	
FSOG-FIOG (vertical cavité orbitaire gauche)	Hypodivergent	30	3,833	4,953	4,35627	0,278104	0,002
	Hyperdivergent	30	3,911	5,368	4,60997	0,339800	
CEG-CLNG (transversal cavité orbitaire gauche)	Hypodivergent	30	3,578	4,441	4,06317	0,190326	0,665
	Hyperdivergent	30	3,532	4,584	4,03930	0,232748	
CEG-COG (sagittal externe cavité orbitaire gauche)	Hypodivergent	30	3,008	4,639	4,14727	0,391333	0,010
	Hyperdivergent	30	2,682	4,680	3,81790	0,548604	
CLNG-COG (sagittal interne cavité orbitaire gauche)	Hypodivergent	30	2,127	4,218	3,75047	0,449981	0,006
	Hyperdivergent	30	2,036	4,358	3,35317	0,619042	

Tableau 6

Statistiques descriptives et comparaison des mesures linéaires de la cavité ethmoïdo-nasale entre les deux groupes hypo- et hyperdivergent.

	Groupe	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	p
COD-FGPD (vertical postérieur droit cavité ethmoïdo-nasale)	Hypodivergent	30	4,051	6,405	4,79697	0,570434	0,003
	Hyperdivergent	30	4,109	6,740	5,34160	0,751035	
COG-FGPG (vertical postérieur gauche cavité ethmoïdo-nasale)	Hypodivergent	30	3,794	6,414	4,73517	0,567398	0,008
	Hyperdivergent	30	4,028	7,267	5,27137	0,899192	
FIOD-FNP (vertical antérieur droit cavité ethmoïdo-nasale)	Hypodivergent	30	3,067	4,176	3,58260	0,322459	0,164
	Hyperdivergent	30	3,056	4,436	3,70423	0,345847	
FIOG-FNP (vertical antérieur gauche cavité ethmoïdo-nasale)	Hypodivergent	30	2,981	4,005	3,53817	0,261911	0,007
	Hyperdivergent	30	3,177	4,527	3,74333	0,305468	
COD-COG (transversal supéro-postérieur cavité ethmoïdo-nasale)	Hypodivergent	30	2,523	4,032	3,39370	0,352961	0,976
	Hyperdivergent	30	2,567	4,713	3,39047	0,480926	
FIOD-FIOG (transversal supéro-antérieur cavité ethmoïdo-nasale)	Hypodivergent	30	3,885	5,398	4,88860	0,365575	0,191
	Hyperdivergent	30	4,389	5,787	5,01157	0,354206	
FGPD-FGPG (transversal inférieur cavité ethmoïdo-nasale)	Hypodivergent	30	2,460	3,475	2,91727	0,288536	0,059
	Hyperdivergent	30	2,656	4,126	3,06310	0,298940	
FIOD-COD (sagittal supérieur droit cavité ethmoïdo-nasale)	Hypodivergent	30	3,895	5,506	4,67780	0,378674	0,020
	Hyperdivergent	30	3,674	5,362	4,42860	0,424774	
FIOG-COG (sagittal supérieur gauche cavité ethmoïdo-nasale)	Hypodivergent	30	3,645	5,438	4,56473	0,412427	0,049
	Hyperdivergent	30	3,857	5,200	4,35697	0,388821	
FNP-FGPD (sagittal inférieur droit cavité ethmoïdo-nasale)	Hypodivergent	30	3,205	4,687	3,99170	0,334369	0,247
	Hyperdivergent	30	3,066	4,615	3,88350	0,380078	
FNP-FGPG (sagittal inférieur gauche cavité ethmoïdo-nasale)	Hypodivergent	30	3,413	4,876	4,02003	0,327047	0,438
	Hyperdivergent	30	2,889	4,625	3,94463	0,415774	

Tableau 7

Statistiques descriptives et comparaison des mesures linéaires de la cavité buccale entre les deux groupes hypo- et hyperdivergent.

	Groupe	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	p
FGPD-GD (vertical postérieur droit cavité buccale)	Hypodivergent	30	4,995	7,375	5,93957	0,552561	0,234
	Hyperdivergent	30	4,499	7,391	5,76053	0,598550	
FGPG-GG (vertical postérieur gauche cavité buccale)	Hypodivergent	30	4,775	7,540	5,96447	0,577774	0,497
	Hyperdivergent	30	4,993	7,693	5,86117	0,592595	
FNP-PS (vertical antérieur cavité buccale)	Hypodivergent	30	4,019	6,285	4,93223	0,502174	0,056
	Hyperdivergent	30	4,183	6,431	5,20243	0,570987	
GD-GG (transversal cavité buccale)	Hypodivergent	30	8,030	11,461	9,31987	0,761960	0,556
	Hyperdivergent	30	8,363	10,768	9,42920	0,662888	
GD-PS (sagittal inférieur droit cavité buccale)	Hypodivergent	30	7,352	10,001	8,53067	0,563471	0,062
	Hyperdivergent	30	7,365	9,052	8,27387	0,476068	
GG-PS (sagittal inférieur gauche cavité buccale)	Hypodivergent	30	7,182	9,651	8,47400	0,571272	0,056
	Hyperdivergent	30	5,948	9,019	8,18443	0,580279	

Tableau 8

Statistiques descriptives et comparaison des mesures linéaires verticales totales entre les deux groupes hypo- et hyperdivergent.

	Groupe	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	p
COD-GD (hauteur postérieure totale droite)	Hypodivergent	30	8,175	11,389	9,71543	0,759927	0,181
	Hyperdivergent	30	8,152	12,837	10,07770	1,248237	
FIOD-PS (hauteur antérieure totale droite)	Hypodivergent	30	6,842	9,426	7,92157	0,619057	0,083
	Hyperdivergent	30	6,097	9,415	8,23317	0,741879	
COG-GG (hauteur postérieure totale gauche)	Hypodivergent	30	8,439	11,209	9,67833	0,694350	0,135
	Hyperdivergent	30	8,250	12,779	10,08857	1,300346	
FIOG-PS (hauteur antérieure totale gauche)	Hypodivergent	30	6,826	9,542	7,85600	0,626578	0,106
	Hyperdivergent	30	5,006	9,247	8,16833	0,832697	

Tableau 9

Statistiques descriptives et comparaison des rapports linéaires entre les deux groupes hypo- et hyperdivergent.

	Groupe	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type	p
FGPD-GD/ COD-GD	Hypodivergent	30	0,468	0,679	0,61263	0,047524	0,003
	Hyperdivergent	30	0,469	0,654	0,57457	0,046230	
FGPD-COD/ COD-GD	Hypodivergent	30	0,400	0,601	0,49367	0,043052	0,003
	Hyperdivergent	30	0,439	0,666	0,53090	0,048147	
FNP-PS/ FIOD-PS	Hypodivergent	30	0,556	0,696	0,62230	0,033841	0,303
	Hyperdivergent	30	0,570	0,723	0,63183	0,037072	
FNPFIOD/ FIOD-PS	Hypodivergent	30	0,393	0,508	0,45283	0,032917	0,973
	Hyperdivergent	30	0,363	0,728	0,45327	0,061838	
FGPG-GG/ COG-GG	Hypodivergent	30	0,454	0,685	0,61710	0,048716	0,017
	Hyperdivergent	30	0,450	0,674	0,58523	0,052064	
FGPG-COG/ COG-GG	Hypodivergent	30	0,395	0,610	0,48967	0,050268	0,012
	Hyperdivergent	30	0,449	0,630	0,52140	0,044439	
FNP-PS/ FIOG-PS	Hypodivergent	30	0,577	0,717	0,62737	0,030858	0,295
	Hyperdivergent	30	0,566	0,836	0,63893	0,051384	
FNP-FIOG/ FIOG-PS	Hypodivergent	30	0,388	0,515	0,45147	0,029297	0,427
	Hyperdivergent	30	0,372	0,904	0,46497	0,087762	

qu'à la localisation, validité et précision des points céphalométriques identifiés sur une téléradiographie en 2D [15]. De même, nous avons eu la latitude de choisir des points que nous avons jugés reproductibles et représentatifs de la structure étudiée sans que ce soit les points utilisés généralement dans les études céphalométriques traditionnelles. Aussi, le logiciel nous donne la possibilité de situer le point sur la reconstruction 3D puis de vérifier son positionnement, si nécessaire, sur les coupes natives pour une plus grande exactitude des valeurs.

4.2. Volumes faciaux et typologie verticale

D'après les différentes études faites jusque-là en 2D sur des téléradiographies de profil, comparant

les dimensions cranio-faciales dans le sens vertical, on aurait pu s'attendre à une différence de volumes entre les deux groupes hyper- et hypodivergent, puisque les mesures verticales, linéaires et angulaires, sont significativement augmentées dans les cas de faces longues et diminuées chez les faces courtes [17]. Isaacson [16] a étudié, sur des téléradiographies de profil, les différences squelettiques entre deux groupes ayant des valeurs extrêmes de l'angle PM-SN dans le sens vertical, les hyperdivergents ont une plus grande hauteur de la face et de l'étage inférieur, tandis que l'étage supérieur est égal à celui des hypodivergents et la hauteur du ramus plus petite. Si nous transposons au niveau volumétrique en 3D, les cavités situées au niveau de la face

supérieure pourraient donc, a priori, ne pas présenter de différences, tandis qu'au niveau inférieur, une compensation squelettique sagittale ou transversale surviendrait entre les parties antérieure et postérieure camouflant les différences verticales entre les deux groupes, ce qui peut expliquer nos résultats.

D'autre part, une augmentation de l'étage inférieur de la face des hyperdivergents pourrait s'accompagner d'un étirement musculaire passif provoquant une tendance à la diminution du sens transversal du maxillaire, ceci ne se produisant pas chez les hypodivergents [16]. Si nous nous intéressons de plus près aux caractéristiques des muscles masticateurs, plusieurs études, dont celles de Proffit [26], Ueda [36] et Garcia-Morales [13] utilisant l'électromyographie, Boom [2] l'Imagerie par Résonance Magnétique et Sampeur [27] la tomodensitométrie tridimensionnelle, ont montré que l'activité ainsi que le développement de certains muscles masticateurs étaient moins importants chez les hyperdivergents, et que le volume des muscles masticateurs était fortement corrélé à la typologie faciale verticale. Wagner et Chung [37] ont trouvé, dans leur étude longitudinale faite sur 81 sujets de sexe féminin suivis, de l'âge de 6 à 18 ans, que les sujets hyperdivergents avaient des maxillaires et des mandibules plus étroits, et que la typologie verticale jouait un rôle important dans la croissance transversale de ces pièces osseuses. Ceci pourrait aller dans le sens de la compensation squelettique entre les trois dimensions de la face.

Concernant les volumes relatifs des cavités, le rapport de la cavité ethmoïdo-nasale sur le volume total s'est avéré plus petit chez les hypodivergents, ceci s'est reflété aussi au niveau des distances linéaires dans le sens vertical, ce qui peut nous orienter, dans cette cavité, vers une prédominance de la dimension verticale par rapport aux deux autres directions. Si nous regardons de plus près les mesures linéaires, nous constatons que les moyennes des valeurs postéro-verticales nasales relatives et absolues sont plus grandes dans l'échantillon hyperdivergent, alors qu'au niveau de la cavité buccale, les moyennes des valeurs postéro-verticales relatives sont plus petites, ce qui peut être expliqué par la position du plan palatin qui est plus incliné, en bas et en arrière, dans le cas d'hyperdivergence et qui est, d'après Nanda [25], le facteur déterminant de la hauteur faciale inférieure. L'augmentation verticale et postérieure du complexe naso-maxillaire serait un

des facteurs morphologiques rencontrés chez les sujets à face longue [28, 35].

Pour ce qui est du sens sagittal de la cavité nasale, les moyennes des valeurs linéaires sont plus grandes chez les hypodivergents, ce qui va dans le sens de la compensation squelettique volumétrique évoquée précédemment, la dimension verticale diminuée étant compensée par la dimension sagittale augmentée.

En extrapolant, nous serons tentés de penser que la « nature » tend souvent vers la compensation puisque Blanchette, *et al.* [1], dans une étude céphalométrique longitudinale, au niveau des tissus mous vus de profil, sur des sujets hyper- et hypodivergents suivis de l'âge de 7 à 17 ans, ont aussi trouvé que les tissus mous essayaient de compenser l'excès ou le déficit squelettique vertical puisque les sujets hyperdivergents présentaient des tissus mous épais pour camoufler le support squelettique déficient, alors que les hypodivergents, au contraire, avaient des téguements fins qui pourraient masquer l'aspect trapu de la mandibule.

5. Conclusion

Les comparaisons entre les hypodivergents et les hyperdivergents se limitaient aux mesures linéaires et angulaires effectuées sur les téléradiographies de profil. Ce travail a permis d'étudier les différences volumétriques des cavités faciales et a montré qu'il n'y avait pas de différence significative à ce niveau entre les deux groupes. La seule différence se présente au niveau du rapport relatif du volume de la cavité nasale sur le volume total des cavités mesurées. Il y aurait, semble-t-il, un phénomène de compensation entre les trois dimensions, ce qui maintiendrait constant le volume final des cavités étudiées.

Les cavités faciales peuvent désormais être étudiées grâce à l'utilisation de l'imagerie 3D, ce qui est une avancée inestimable en orthodontie ouvrant la porte à de nombreuses possibilités de recherches ultérieures.

Remerciements

Remerciements au Professeur José Braga et au Docteur Jacques Treil pour leur aide dans la réalisation de ce travail.

Bibliographie

- [1] Blanchette ME, Nanda RS, Currier GF, Ghosh J, Nanda SK. A longitudinal cephalometric study of the soft tissue profile of short- and long-face syndromes from 7 to 17 years. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;109:116–131.
- [2] Boom HP, Van Spronsen PH, Van Ginkel FC, Van Schijndel RA, Castelijns JA, Tuinzing DB. A comparison of human jaw muscle cross-sectional area and volume in long- and short-face subjects, using MRI. *Arch Oral Biol* 2008;53:273–281.
- [3] Carlson D. Theories of craniofacial growth in the postgenomic era. *Semin Orthod* 2005;11:172–183.
- [4] Cho HJ, Redmond WR. A three-dimensional cephalometric analysis. *JCO* 2009;63:235–252.
- [5] Dah-Jouonzo H, Baron P, Faure J, Treil J, Borianne P. Mesures volumétriques des bases osseuses maxillaires et des cavités aériennes de la face en imagerie 3D. *Int Orthod* 2005;3:269–289.
- [6] Dah-Jouonzo H, Baron P, Faure J. Liaisons entre volumes des cavités aériennes et des bases osseuses maxillaires et paramètres de céphalométrie 3D. *Orthod Fr* 2007;78:265–281.
- [7] Delaire J. L'équilibre architectural en chirurgie maxillo-faciale, en orthopédie dento-faciale et en chirurgie orthognathique. *Orthod Fr* 1985;56:353–364.
- [8] Faure J, Baron P, Treil J. Analyse céphalométrique tridimensionnelle : diagnostic des dysmorphies antéro-postérieures et verticales. *Orthod Fr* 2005;76:91–110.
- [9] Faure J, Marshal-Sixou C, Dah-Jouonzo H, Oueïss A, Baron P. Analyse céphalométrique tridimensionnelle à 14 points : compensations des dysmorphies maxillo-faciales. *Orthod Fr* 2008;79:251–261.
- [10] Faure J, Oueïss A, Marchal-Sixou C, Braga J, Treil J. Céphalométrie tridimensionnelle : applications en clinique et en recherche. *Orthod Fr* 2008;79:13–30.
- [11] Faure J, Treil J, Borianne P, Casteigt J, Baron P. Céphalométrie tridimensionnelle en orthopédie dento-faciale. Les possibilités actuelles du logiciel Cepha3DT. *Orthod Fr* 2002;73:19–37.
- [12] Frasson JMD, De Araújo Magnani MBB, Nouer DF, Vieira de Siqueira VC, Lunardi N. Comparative cephalometric study between nasal and predominantly mouth breathers. *Rev Bras Otorrinolaringol* 2006;72:72–82.
- [13] Garcia-Morales P, Buschang PH, Throckmorton GS, English JD. Maximum bite force, muscle efficiency and mechanical advantage in children with vertical growth patterns. *Eur J Orthod* 2003;25:265–272.
- [14] Hennessy RJ, Moss JP. Facial growth: separating shape from size. *Eur J Orthod* 2001;23:275–285.
- [15] Houston WJB. The analysis of errors in orthodontic measurements. *Am J Orthod* 1983;83:382–390.
- [16] Isaacson JR, Isaacson RJ, Speidel TM, Worms FW. Extreme variation in vertical facial growth and associated variation in the skeletal and dental relations. *Angle Orthod* 1971;41:219–229.
- [17] Karlson AT. Craniofacial face differences between low and high MP-SN angle males: a longitudinal study. *Angle Orthod* 1995;65:341–350.
- [18] Kau CH, Richmond S. Three-dimensional analysis of facial morphology surface changes in untreated children from 12 to 14 years of age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134:751–760.
- [19] Kragsskov J, Bosch C, Gyldensted C, Sindet-Pedersen S. Comparison of the reliability of craniofacial anatomic landmarks based on cephalometric radiographs and three-dimensional CT scans. *Cleft Palate Craniofac J* 1997;34:111–116.
- [20] Lautrou A. Croissance faciale : théories explicatives et clinique orthodontique. *Rev Orthop Dento Faciale* 1994;28:433–453.
- [21] Linder-Aronson S. The relation between nasorespiratory function and dentofacial morphology. *Am J Orthod* 1983;83(5):443–444.
- [22] Linder-Aronson S, Woodside DG, Lundstrom A. Mandibular growth direction following adenoidectomy. *Am J Orthod* 1986;89:273–278.
- [23] Moss ML. The primacy of functional matrices in orofacial growth. *Dent Pract* 1968;19:65–73.
- [24] Nabbout F, Faure J, Baron P, Braga J, Treil J. Centres de résistance des groupes dentaires et mécanique orthodontique. *Int Orthod* 2007;5:437–446.
- [25] Nanda SK. Growth patterns in subjects with long and short faces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;98:247–258.
- [26] Proffit WR, Fields HW, Nixon WL. Occlusal forces in normal- and long-face adults. *J Dent Res* 1983;62:566–571.
- [27] Sampeur M, Boileau MJ. Caractéristiques des muscles masticateurs en tomodynamométrie : variations en fonction de la typologie squelettique. *Orthod Fr* 2008;79:151–159.
- [28] Schudy FF. The rotation of the mandible resulting from growth: Its implications in orthodontic treatment. *Angle Orthod* 1965;35:36–50.
- [29] Scott JH. The growth and function of the muscles of mastication in relation to the development of the facial skeleton and of the dentition. *Am J Orthod* 1954;40:429–449.
- [30] Sicher H. The growth of the mandible. *Am J Orthod* 1947;33:30–35.
- [31] Solow B. Airways adequacy, head posture and craniofacial morphology. *Am J Orthod* 1984;86:214–223.
- [32] Steiner CC. Cephalometrics in clinical practice. *Angle Orthod* 1959;29:8–28.
- [33] Talmant J, Deniaud J. Ventilation nasale et récidive. *Orthod Fr* 2000;71:127–141.
- [34] Talmant J, Talmant C, Deniaud J. Fetal ventilation and craniomaxillary development. *Orthod Fr* 2002;73:83–107.
- [35] Trouten JC, Enlow DH, Rabine M, Phelps AE, Swedlow D. Morphologic factors in open bite and deep bite. *Angle Orthod* 1983;53:192–211.
- [36] Ueda H, Ishizuka Y, Miyamoto K, Morimoto N, Tanne K. Relationship between masticatory muscle activity and vertical craniofacial morphology. *Angle Orthod* 1998;68(3):233–238.
- [37] Wagner DM, Chung CH. Transverse growth of the maxilla and mandible in untreated girls with low, average and high MP-SN angles: A longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:716–723.