

Les erreurs de mesure en céphalométrie 3D : à propos de l'analyse cranio-faciale vestibulaire

Romain DE PAPÉ, Christophe PIZELLE, Jean-Michel FOUCART*

CHU Hôtel Dieu (AP-HP), 1 place du Parvis Notre-Dame, 75181 Paris Cedex 4, France

MOTS CLÉS :

Céphalométrie /
3D /
Tomodensitométrie /
Erreur /
Points anatomiques /
Mesures

RÉSUMÉ – Le développement des techniques d'imagerie tridimensionnelle générant une faible irradiation (tomodensitométrie et tomographie volumique à faisceau conique ou *cone beam*) rend désormais possible la réalisation d'une céphalométrie 3D pour certains cas cliniques complexes en substitution de la céphalométrie 2D conventionnelle. Néanmoins, le développement de telles analyses implique l'identification des points anatomiques les plus fiables. Un groupe de 15 orthodontistes a été aléatoirement sélectionné ; tous ont identifié 33 points sur un examen volumique tomodensitométrique, les points ayant été choisis à partir de l'analyse cranio-faciale vestibulaire, historiquement connue pour sa reproductibilité. Les résultats confirment la grande fiabilité des points de référence liés aux canaux semi-circulaires (vestibion). Ils montrent, comme en céphalométrie 2D conventionnelle, que chaque point présente un nuage de dispersion caractéristique et que les points les plus fiables sont liés à des structures anatomiques facilement identifiables (foramen, pointes osseuses...).

KEYWORDS:

Cephalometry /
3D /
Computed
tomography /
Error /
Anatomic landmarks /
Measurement

ABSTRACT – *Measurement errors in 3D cephalometrics : about the buccal cranio-facial analysis.* The development of three-dimensional radiological techniques generating low levels of radiation, like computed tomography and positron emission tomography with cone beam, has made it possible for orthodontists to utilize three dimensional cephalometry for certain complex clinical cases instead of conventional two dimensional imagery. Nevertheless, these new techniques rely on the identification of the most dependable anatomic landmarks. Fifteen randomly selected orthodontists were asked to identify on a computed tomography film 33 points that were chosen for a buccal cranio-facial analysis because they have been traditionally recognized for their reproducibility. The results confirmed the high reliability level of the reference point vestibion that is related to the semi-circular canals. They showed, in the same way that conventional 2D cephalometry does, that each landmark presents a cloud and dispersion characteristic and that the most reliable landmarks are based on easily identifiable anatomic structures like foramens and osseous points.

1. Introduction

Avec le développement des techniques d'imagerie sectionnelle et plus particulièrement les récentes techniques d'acquisition volumique, de nombreux chercheurs tentent d'introduire de nouvelles méthodes d'analyse céphalométrique tridimensionnelle du crâne. De manière analogue à la céphalométrie 2D, ces analyses 3D sont divisées en analyses dimensionnelles, qui se réfèrent à une norme établie à partir d'un large échantillon d'individus, et en analyses architecturales, qui prennent l'équilibre de l'individu comme référence [1, 14, 18, 20, 25, 26]. Quelle que soit la

méthode utilisée, le développement de la céphalométrie 3D est lié à la précision d'identification et de localisation des différents points retenus, certains devant permettre de construire des plans de référence.

La découverte d'un plan anatomique susceptible de servir de base universelle à l'étude de l'anatomie de la tête des vertébrés a de tout temps passionné les zoologistes, anatomistes et anthropologistes. Tous se sont efforcés de déterminer dans le crâne des lignes ou des plans pouvant servir de fondement à la craniométrie, et plus particulièrement un plan horizontal de référence.

En 1873, Broca s'intéresse à ce problème tant controversé. Pour déterminer le plan horizontal, l'anthropologiste admet que la direction naturelle du

* Auteur pour correspondance : foucart@univ-paris-diderot.fr

regard est l'horizon et que l'homme et les animaux, regardant sans effort, donnent à leur tête son attitude ou sa position normale dans l'espace. Il décrit ainsi le plan bi-orbitaire à partir de deux lignes partant chacune de l'un des canaux optiques pour rejoindre le centre de l'orbite [3, 4].

Cependant, cette position se heurte à de grandes difficultés techniques si l'on veut appliquer cette méthode à tous les vertébrés. Ainsi que le soulignera Girard en 1923, certains animaux comme la taupe aveugle n'ont pas d'yeux ni d'orbites ; d'où l'impossibilité absolue de déterminer chez eux le plan bi-orbitaire. En outre, un très grand nombre d'animaux ont des orbites incomplètes ou tellement irrégulières qu'il est très difficile d'en fixer l'axe avec précision [12].

En 1880, Virchow donne une nouvelle définition du plan horizontal qu'il nomme plan horizontal conventionnel de Francfort [29]. Ce plan se définit par une ligne horizontale reliant le point supérieur du méat acoustique externe (porion) au milieu du rebord orbitaire inférieur (orbitale). Mais, ainsi que le montreront rapidement de nombreux auteurs, ce plan n'est pas le plus reproductible et varie avec le stade ontogénique [10, 21, 24].

En 1910, Louis Girard, membre de la société d'anthropologie de Paris, s'interroge : « *Ne semble-t-il pas plus logique, pour situer la tête dans l'espace, de s'adresser, non pas au sens de la vue, mais aux éléments de l'appareil d'équilibre ?* » [11]. En 1922, Pérez reprenant cette idée, propose de trouver un plan horizontal prenant en considération le point de vue physiologique et non anatomique [23]. Après de nombreux travaux et de nombreuses dissections, les deux auteurs proposent d'utiliser les canaux semi-circulaires latéraux, appelés « canaux horizontaux » pour orienter le crâne : la méthode d'orientation vestibulaire cranio-faciale était née.

Poursuivant les travaux de Girard et Pérez, de nombreux chercheurs parmi lesquels Delattre, Fénard et Cousin ont démontré que l'orientation vestibulaire est une référence fiable et reproductible, y compris entre les espèces animales, étant liée à la gravité et permettant d'assurer une relation constante entre le crâne et son environnement [5, 8, 9]. Néanmoins, jusqu'à l'avènement des techniques d'imagerie sectionnelle, l'utilisation de l'analyse cranio-faciale vestibulaire se heurtait à de nombreuses contraintes techniques.

L'objectif de cette étude est donc, utilisant la tomodensitométrie volumique, d'analyser les erreurs inter-observateurs d'identification 3D des points utilisés dans l'analyse cranio-faciale vestibulaire, et de certains

points habituellement utilisés dans les analyses 2D conventionnelles, par 15 orthodontistes. À partir de l'analyse statistique de leurs nuages de dispersion, l'objectif secondaire est de déterminer quels sont les points céphalométriques 3D qui peuvent être considérés comme les plus fiables et par voie de conséquence de déterminer quelles sont les mesures linéaires et angulaires 3D qui peuvent être considérées comme les plus reproductibles.

2. Matériel et méthode

Un examen tomodensitométrique du crâne réalisé à l'occasion d'une exploration cérébrale a été aléatoirement sélectionné parmi 50 examens similaires. Le patient (sexe : F / âge : 55 ans) de type caucasien ne présentait à l'examen TDM aucune anomalie susceptible d'influer sur le repérage des points nécessaires à la construction de l'analyse. Le sujet, bénéficiant des mesures de radioprotection appropriées (tablier plombé), a été placé dans le scanner par un manipulateur expérimenté en radiodiagnostic. Les constantes utilisées ont été optimisées afin de respecter le principe de radioprotection dit « ALARA » (*As Low As Reasonably Achievable*) énoncé dans les directives EURATOM 96/29 et 97/43.

L'examen a été réalisé sur un Scanner Philips Brilliance 16 (120 kV, 1000 mA/s, FOV = 254 mm, 512 × 512, Filtre C, 0,3 mm tous les 0,7 mm, CTDI = 21,4 mGy). Les données ont été sauvegardées au format DICOM et transférées dans le logiciel OsiriX® installé sur un ordinateur iBook MacOS X® Version 10.4.

Un groupe de 15 spécialistes en ODF a été aléatoirement sélectionné parmi les praticiens participants aux vacances d'orthopédie dento-faciale du service d'odontologie de l'Hôtel Dieu de Paris. Une introduction au but de notre étude et un récapitulatif du principe ainsi que des points de l'analyse cranio-faciale vestibulaire leur ont été confiés. Les participants ont été assurés de l'anonymat de leurs réponses. Chaque participant a réalisé le test assis, dans un environnement calme, faiblement éclairé afin d'optimiser l'acuité visuelle.

Les points céphalométriques retenus ont été définis par Cousin, Pellerin et Canal dans leurs différentes thèses sur l'analyse vestibulaire [5, 7, 22]. À ces points ont été rajoutés quatre points céphalométriques 2D connus pour leur précision anatomique (Tab. 1, Fig. 1).

Tableau 1
Définition des points utilisés.

Points	Définition
Vestibions internes droit et gauche (VD et VG)	Centres des canaux semi-circulaires latéraux droit et gauche
Basion (Ba)	Point sagittal le plus antérieur et le plus inférieur du contour du foramen magnum
Endimion (End)	Centre de l'image radiologique de la protubérance occipitale interne
Glabelle (Gl)	Point sagittal le plus antérieur du torus frontal
Opisthocranion (Opc)	Point le plus postérieur de l'écaille de l'occipital
Inion	Point situé à l'extrémité distale de la protubérance occipitale externe
Nasion (Na)	Point de rencontre de la suture entre les os propres du nez et le frontal
Opisthion (Op)	Point le plus postérieur du foramen magnum
Point antérieur (Ant.)	Point le plus antérieur du frontal en orientation vestibulaire
Point postérieur (Post.)	Point le plus postérieur de l'écaille de l'occipitale en orientation vestibulaire
Point criblé antérieur (Ca)	Point situé à l'extrémité antérieure de la lame criblée ethmoïdale, sur la suture fronto-ethmoïdale
Point criblé postérieur (Cp)	Point situé à l'extrémité postérieure de la lame criblée ethmoïdale
Point sellaïre (S)	Centre de la selle turcique
Euryon (Eu)	Point le plus latéral de la calotte crânienne
Point milieu du conduit auditif externe (CAE)	Centre de la projection sagittale du débouché externe du méat acoustique externe
Porion (Po)	Point le plus supérieur du débouché du méat acoustique externe
Épine Nasale Antérieure (ENA)	Point situé à l'extrémité antérieure de l'épina nasale antérieure
Infra-dental (Id) ou alvéolaire inférieur	Point le plus antérieur et supérieur du profil dessiné par la portion alvéolaire de l'os mandibulaire
Prosthion (Pr)	Point le plus antérieur et inférieur du profil dessiné par la portion alvéolaire de l'os maxillaire
Point palatin postérieur (Pp)	Point le plus postérieur de la voûte palatine (ENP)
Point symphysaire inférieur (Sy)	Point le plus postérieur et inférieur de la symphyse mentonnière
Point coronôidien (Cor)	Point situé à l'extrémité du coroné
Point condylien moyen (Cond)	Point central de la face supérieure du condyle mandibulaire
Gonion (Go)	Point de tangence avec la région angulaire mandibulaire d'une parallèle à la ligne joignant le point symphysaire inférieur et le point condylien
Point orbitaire inférieur (OI)	Point le plus inférieur du rebord orbitaire antérieur
Point orbitaire supérieur (OS)	Point le plus élevé de rebord orbitaire antérieur
Foramen supra-orbitaire (FSO)	Emergence de la branche V1 du nerf trijumeau
Foramen infra-orbitaire (FIO)	Emergence de la branche V2 du nerf trijumeau
Foramen mentonnier (FM)	Emergence de la branche V3 du nerf du trijumeau
Bord antérieur du foramen mandibulaire / Pointe de la lingula (Ling)	Pointe de la lingula
Point C	Point construit : point de rencontre des plans de références de l'analyse cranio-faciale vestibulaire

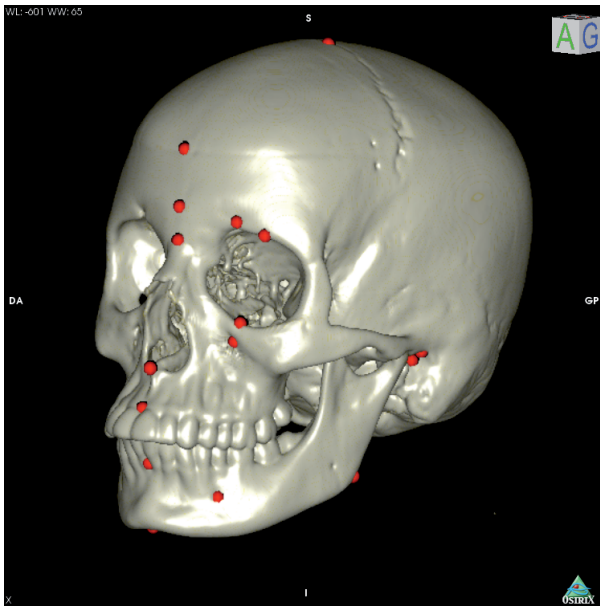


Figure 1

Exemple de localisation des points exocraniens : point antérieur, glabelle, nasion, epine nasale antérieure, prosthion, infra-dental, point symphysaire inférieur, foramen supra-orbitaire, point orbitaire supérieur, point orbitaire inférieur, foramen infra-orbitaire, fora.

Les coordonnées X, Y et Z des 33 points relevés ont été compilées dans une feuille de calcul générée par le logiciel Excel. La moyenne arithmétique et l'écart type selon les trois axes de chacun des points ont été calculés, analysés séparément, puis combinés dans une sphère afin d'analyser le volume de dispersion de chaque point au moyen d'une valeur unique.

À partir de ces points relevés, 4 mesures linéaires et 10 mesures angulaires issues de l'analyse vestibulaire ont été calculées, les formules permettant de mesurer une distance (AB) ou un angle (ABC) dans l'espace étant respectivement rapportées ci-dessous :

$$[AB] = \|\overline{AB}\| = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2 + (Z_A - Z_B)^2}$$

$$\text{tang}\overline{ABC} =$$

$$\frac{\sqrt{(Y_1 Z_2 - Y_2 Z_1)^2 + (Z_1 X_2 - Z_2 X_1)^2 + (X_1 Y_2 - Y_1 X_2)^2}}{(X_A - X_B)(X_C - X_B) + (Y_A - Y_B)(Y_C - Y_B) + (Z_A - Z_B)(Z_C - Z_B)}$$

où $X_1 = X_A - X_B$, $Y_1 = Y_A - Y_B$, $Z_1 = Z_A - Z_B$, $X_2 = X_C - X_B$, $Y_2 = Y_C - Y_B$ et $Z_2 = Z_C - Z_B$

3. Résultats

Le tableau 2 présente l'écart-type selon les trois axes, l'écart-type moyen et le volume de dispersion de chaque point.

Le tableau 3 présente le classement des points étudiés en fonction du volume de dispersion. La majorité des points (21 sur 33) admettent un volume de dispersion moyen inférieur à 1 mm^3 .

Les tableaux 4 et 5 présentent respectivement les erreurs de mesures linéaires et angulaires, leurs écarts-types ainsi que les mesures maximales et minimales enregistrées. L'analyse des erreurs moyennes des mesures linéaires montre que ces erreurs sont comprises entre 0,43 mm et 0,73 mm, soit entre 0,4 % et 1,21 % des longueurs totales. L'analyse des erreurs angulaires montre que ces erreurs sont comprises entre $0,27^\circ$ et $3,62^\circ$.

4. Discussion

Le développement d'analyses céphalométriques tridimensionnelles du crâne implique, comme en céphalométrie traditionnelle, d'utiliser des points anatomiques reproductibles.

Nos résultats montrent que la moyenne des écarts-types mesurée dans les trois sens de l'espace est comprise entre 0,32 mm et 1,72 mm. Ces résultats sont comparables avec ceux de Valeri qui observe sur crâne sec une erreur moyenne de 1,15 mm [27] et avec ceux d'Olszewski qui rapporte, utilisant une autre méthode de calcul, une erreur inter-observateur moyenne de $1,799 \pm 1,037 \text{ mm}$ à $2,465 \pm 1,036 \text{ mm}$, selon l'analyse utilisée [19]. Ainsi que le montre également Lou et Muramatsu, chaque point présente, comme en céphalométrie traditionnelle, un nuage de dispersion dont la forme est caractéristique [2, 15, 16].

En comparant les résultats à ceux de la céphalométrie 2D traditionnelle, il est également possible de remarquer que la précision d'identification des points 3D est similaire [2]. L'écart-type est légèrement plus important en céphalométrie 3D (en moyenne de 0,28 mm), mais ce manque de précision peut-être rapporté au manque d'habitude des opérateurs. Ces résultats confirment la compatibilité entre les analyses 2D traditionnelles et 3D en cours de développement [17, 30].

Observant les volumes de dispersion des points, il est possible de relativiser la valeur de certains points.

Tableau 2
Écart-type selon les trois axes, écart-type moyen et volume de dispersion de chaque point.

Points	ET X (mm)	ET Y (mm)	ET Z (mm)	ET moyen (mm)	Volume (mm ³)
C	0,38	0,40	0,30	0,36	0,19
VG	0,56	0,40	0,32	0,42	0,29
VD	0,36	0,40	0,41	0,39	0,24
Ba	0,28	0,44	0,81	0,51	0,41
End	2,58	1,84	1,23	1,88	24,44
Gl	0,28	0,57	1,25	0,7	0,83
Inion	0,81	1,13	0,75	0,9	2,89
Na	0,55	0,45	0,58	0,52	0,6
Op	0,37	0,49	0,55	0,47	0,41
Opc	0,61	1,53	1,25	1,13	4,92
Ant	0,40	0,67	0,55	0,54	0,61
Post	0,37	0,87	0,55	0,6	0,74
Ca	0,95	1,22	0,81	0,99	3,91
Cp	3,28	0,61	1,26	1,72	10,54
S	0,40	0,72	0,48	0,53	0,57
Eu	0,77	0,54	0,41	0,57	0,72
CAE	0,34	0,68	0,62	0,54	0,59
Po	0,59	0,41	0,83	0,61	0,83
ENA	0,83	0,43	0,49	0,58	0,72
Id	0,76	0,94	0,43	0,71	1,28
Pp	0,45	0,45	0,48	0,46	0,41
Pr	0,65	0,60	0,51	0,59	0,84
Cor	0,69	0,53	0,41	0,54	0,62
Sy	1,61	0,78	1,43	1,28	7,60
Cond	0,72	0,37	0,97	0,69	1,08
OI	1,35	0,61	1,98	1,31	6,77
OS	1,04	0,91	1,84	1,26	7,32
OM	0,97	0,58	1,79	1,11	4,24
Go	0,67	0,93	0,77	0,79	2
FIO	0,37	0,29	0,40	0,35	0,18
FSO	0,23	0,32	0,41	0,32	0,12
FM	0,45	0,49	0,55	0,50	0,51
Ling	0,37	0,88	0,44	0,56	0,59

Les points qui présentent un volume de dispersion supérieur à 1 mm³ sont :

- les points peu ou pas utilisés dans les analyses céphalométriques 2D traditionnelles : endimion, opisthocranion, point criblé antérieur, point criblé postérieur ;

- les points dont la définition 2D n'est pas adaptée à la 3D, car ignorant une des dimensions : point symphysaire inférieur, gonion ;
- les points se situant sur un maximum de courbure : orbitaire inférieur, orbitaire supérieur, inion... Ces résultats sont comparables à ceux

Tableau 3
Classement des points en fonction du volume de dispersion.

Classe- ment	Points	Volume (mm ³)	Classe- ment	Points	Volume (mm ³)
1	FSO	0,12	18	Post	0,74
2	FIO	0,18	19	Po	0,83
3	C	0,19	20	Gl	0,83
4	VD	0,24	21	Pr	0,84
5	VG	0,29	22	Cond	1,08
6	Pp	0,41	23	Id	1,28
7	Op	0,41	24	Go	2
8	Ba	0,41	25	I	2,89
9	FM	0,51	26	Ca	3,91
10	S	0,57	27	OM	4,24
11	Ling	0,59	28	Opc	4,92
12	CAE	0,59	29	OI	6,77
13	Na	0,6	30	OS	7,32
14	Ant	0,61	31	Sy	7,6
15	Cor	0,62	32	Cp	10,54
16	Eu	0,72	33	End	24,44
17	ENA	0,72			

rapportés par Haynes et Vincent en céphalométrie 2D [13, 28].

Analysant plus spécifiquement les points de référence de l'analyse cranio-faciale vestibulaire, il apparaît que les points vestibulaires présentent une très grande fiabilité (en moyenne 0,26 mm³; 0,46 mm selon l'axe des X; 0,40 mm selon l'axe des Y et 0,36 mm selon l'axe des Z). Leur utilisation paraît ainsi préférable par rapport à des structures telles que la tête du marteau, parfois utilisée comme référence, et qui présente une variabilité largement supérieure (en moyenne supérieure à 3 mm dans les trois plans de l'espace) [6]. Les autres points les plus stables, plus familiers à l'orthodontiste, et qui présentent ainsi un intérêt indéniable dans les développements d'analyses 3D, sont notamment : les foramens supra et infra-orbitaires, les foramens mentonniers et mandibulaires (localisés par les pointes des lingulas), les épines nasales antérieure et postérieure, le basion, le nasion, le coroné et le condylien.

Tableau 4
Moyennes des mesures linéaires, écarts-types, valeurs maximales et minimales.

Mesure	Moyenne	Écart- type	Min	Max
Distance Pr-C	96,33	0,47	95,30	97,14
Longueur du crâne	178,26	0,72	176,14	179,24
Hauteur de la face	83,18	0,73	81,89	84,55
Longueur du foramen occipital	35,45	0,43	34,59	36,07

Si le nombre de mesures linéaires est faible (les praticiens n'ayant relevé que les points gauches afin de limiter le temps d'identification) et peu représentatif, l'analyse des mesures angulaires montre leur fiabilité, celle-ci découlant bien évidemment de la précision d'identification des points.

Les erreurs observées dans cette étude (0,43 mm à 0,73 mm et 0,27° à 3,62° en moyenne) sont compatibles avec les résultats avancés dès 1968 par Fénart, Cousin et Pellerin, avec les erreurs observées dans des protocoles similaires utilisant la tomodensitométrie ou avec les erreurs de mesure observées en céphalométrie 2D [2, 7, 10, 15, 17, 22, 30].

5. Conclusions

La tomodensitométrie, et plus récemment la tomographie volumique à faisceau conique (*cone beam*), rendent désormais possible, pour certains cas spécifiques, la réalisation d'une céphalométrie tridimensionnelle. Les études céphalométriques en cours de développement doivent, pour présenter une plus grande fiabilité, utiliser les points qui présentent une faible variabilité inter-observateurs. Comme en céphalométrie conventionnelle :

- les points les plus stables doivent servir de référence, les points liés aux canaux semi-circulaires révélant une forte reproductibilité, ainsi que l'ont démontré de nombreux auteurs depuis près d'un siècle ;
- chaque point présente une enveloppe, un « nuage de dispersion » caractéristique ;
- les points les plus fiables sont liés aux structures anatomiques parfaitement identifiables : foramen, épines, etc.

Tableau 5
Moyennes des mesures linéaires, écarts-types, valeurs maximales et minimales.

Mesure	Plan	Moyenne	Écart-type	Min	Max
Ca-S-Ba		132,18	1,63	129,10	134,84
Angle foraminien	Sag.	28,46	2,54	24,61	33,40
	Front.	84,88	1,68	81,14	87,89
Na-S / plan vestibulaire	Sag.	29,34	1,88	26,61	32,90
	Front.	88,46	0,54	87,62	89,74
Na-OP / plan vestibulaire	Sag.	52,11	0,66	50,15	52,64
	Front.	88,46	0,59	87,28	89,38
Plan palatin / plan vestibulaire	Sag.	13,44	3,62	6,65	19,80
	Front.	-30,94	0,31	-31,42	-30,38
Na-Pr / plan vestibulaire	Sag.	-89,15	0,29	-89,71	-88,53
	Front.	-80,92	0,84	-82,49	-79,60
Prognatisme exo-facial	Sag.	87,26	2,09	86,58	87,67
	Front.	-63,35	2,08	-66,51	-59,78
Gl-Opc / plan vestibulaire	Sag.	7,18	0,40	83,82	85,27
	Front.	84,61	2,09	55,32	63,14
OM-S / plan vestibulaire	Sag.	59,46	2,09	55,32	63,14
	Front.	61,60	1,77	57,91	64,76
Pr-Op / plan vestibulaire	Sag.	47,34	0,86	46,25	48,76
	Front.	84,83	0,62	83,97	85,75
CAE-Na / plan vestibulaire	Sag.	-71,79	0,27	-72,13	-71,13
	Front.	61,52	0,56	60,55	62,34

Bibliographie

- [1] Bettega G, Payan Y, Mollard B, Boyer A, Raphael B, Lavallée S. A simulator for maxillofacial surgery integrating 3D cephalometry and orthodontia. *Comput Aided Surg* 2000;5:156–165.
- [2] Bourriau J, Bidange G, Foucart JM. L'erreur de mesure en céphalométrie 2D. *Orthod Fr* 2012;83:sous presse.
- [3] Broca P. Nouvelles recherches sur le plan horizontal de la tête et sur le degré d'inclinaison des divers plans crâniens. *Bull Soc Anthr* 1873;7:542–563.
- [4] Broca P. Sur le plan horizontal de la tête et sur la méthode trigonométrique. *Bull Soc Anthr* 1873;8:48–96.
- [5] Canal P. Recherche sur le plan de symétrie crânienne par la méthode vestibulaire. Application à une collection anatomique. Thèse Dr en Sci Odontol, Paris 7, 1986.
- [6] Carat T. Incidence du placement des points sur l'analyse de Treil et Casteigt. Mémoire de CECSMO, Bordeaux, 2002.
- [7] Cousin RP. Etude en projection sagittale de crânes d'enfants orientés dans les axes vestibulaires. Thèse Dr en Sci Odontol, Paris, 1970.
- [8] Delattre A. Du crâne animal au crâne humain. Paris. Masson Ed, 1951, 100 p.
- [9] Delattre A, Fénard R. Étude des projections horizontale et vertico-frontale du crâne au cours de l'homínisation. *Anthropologie* 1963;67:85–114. 1964;67:95–112.
- [10] Fénard R, Dardenne J. Étude statistique des rapports entre les plans vestibulaires et les autres plans de référence de la tête. *C R Acad Sci Paris* 1968;266:1849–1851.
- [11] Girard L. Essai d'anatomie topographique du labyrinthe d'après les dissections pratiquées par voie chirurgicale. *Bull Mém Soc Anat* 1910;85:941–962.
- [12] Girard L. Le plan des canaux semi-circulaires horizontaux, considéré comme plan horizontal de la tête. *Bull Mem Soc Anthr* 1923;7e série, t.iv: 14–33.
- [13] Haynes S, Chau M. Inter- and intra-observer identification of used in Delaire analysis. *Eur J Orthod* 1993;15:79–84.
- [14] Hillerup S, Bjorn-Jorgensen J, Donatsky O, Jacobsen PU. Precision of orthognathic surgery. A computerized cephalometric analysis of 27 patients. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1994;23:255–261.
- [15] Lou L, Lagravere MO, Compton S, Major PW, Flores-Mir C. 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* 2007;104:402–411.

- [16] Muramatsu A, Nawa H, Kimura M, Yoshida K, Maeda M, Katsumata A, *et al.* Reproducibility of maxillofacial anatomic landmarks on 3-dimensional computed tomographic images determined with the 95% confidence ellipse method. *Angle Orthod* 2008;78:396-402.
- [17] Nalcaci R, Ozturk F, Sokucu O. A comparison of two-dimensional radiography and three-dimensional computed tomography in angular cephalometric measurements. *Dentomaxillofac Radiol* 2010;39:100-106.
- [18] Olszewski R, Cosnard G, Macq B, Mahy P, Reyhler H. 3D CT based cephalometric analysis: 3D cephalometric concept and software. *Neuroradiology* 2006;48:853-862.
- [19] Olszewski R, Tanesy O, Cosnard G, Zech F, Reyhler Y. Reproducibility of osseous landmarks used for computed tomography based three-dimensional cephalometric analyses. *J Cranio Maxillofacial Surg* 2010;38:214-221.
- [20] Olszewski R, Zech F, Cosnard G, Nicolas V, Macq B, Reyhler H. 3D CT cephalometric craniofacial analysis: experimental validation *in vitro*. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2007;36:828-834.
- [21] Papernot-Cousteix G, Fénart R. Erreur commise en céphalométrie dans l'appréciation du plan de Francfort, en fonction de l'opérateur. *Rev Stomatol Odontol du Nord de la France* 1972;108:249-260.
- [22] Pellerin C. Le crâne humain en orientation vestibulaire. Étude de neuf populations récentes. Thèse Doct 3^e cycle, Paris 5, 1983.
- [23] Pérez F. Craionlogie vestibienne, éthique et zoologique. *Bull Soc Anthr de Paris* 1922;7:16-32.
- [24] Richardson A. An investigation into the reproductibility of some points, planes and lines used in cephalometric analysis. *Am J Orthod* 1966;52:637-651.
- [25] Swennen GR, Schutyser F, Barth EL, De Groeve P, De Mey A. A new method of 3-D cephalometry part I: the anatomic Cartesian 3-D reference system. *J Craniofac Surg* 2006;17:314-325.
- [26] Treil J, Casteigt J, Borianne P, Madrid C, Jaeger M, De Bonnacaze P. The architectural balance of the face: a 3D cephalometric concept. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 1999;100:111-122.
- [27] Valeri CJ, Cole TM, Lele S, Richtsmeier JT. Capturing data from three-dimensional surfaces using fuzzy landmarks. *Am J Phys Anthropol* 1998;107:113-124.
- [28] Vincent A, West V. Cephalometric landmark identification error. *Aust Orthod J* 1987;10:98-104.
- [29] Virchow R. *Congrès de Munich-Francfort*, 1877.
- [30] Yitschaky O, Redlich M, Abed Y, Faerman M, Casap N, Hiller N. Comparison of common hard tissue cephalometric measurements between computed tomography 3D reconstruction and conventional 2D cephalometric images. *Angle Orthod* 2011;81:11-16.