

## CLICHES RX: APPARENCE ET REALITE (METHODE DE MESURE DES COORDONEES 3D DE POINTS ANATOMIQUES)

ROUSSET M.M.<sup>1\*</sup>, SIMONEK F.<sup>2</sup>, DUBUS J.P.<sup>2</sup>

*1 Lab. Morphogenèse céphalique et Prévention, UFR Odontologie, Place de Verdun, Lille, France*

*2 Lab. Interaction, Image, Ingénierie de la décision, Univ. Sciences et Technologies, Villeneuve d'Ascq, FRANCE*

*\* Membre du GIRSO*

*MOTS CLES: Céphalométrie, tridimensionnelle, projection conique, correction d'images.*

*KEY WORDS: Cephalometric radiography, Three-dimensional, Parallax distortion, Image correction.*

### RESUME

La prise de clichés RX introduit un phénomène de projection conique qui entraîne des erreurs de 1 à 5 millimètres. Nous présentons une méthode originale de calcul des coordonnées 3D qui tient compte des dimensions du système radiographique.

Un point de l'espace est repéré par rapport au système de coordonnées de centre o (milieu du segment matérialisé par les olives). Le cliché frontal est l'image de référence après avoir placé au milieu du front du patient, une bille métallique. Le cliché latéral est obtenu en faisant tourner le patient de 90°. Le cliché axial est obtenu par rotation de la tête autour de l'axe horizontal des olives. On suppose que l'ensemble Source-Cliché tourne autour de la tête du patient (considérée fixe). Le protocole de mesure comporte une étape de prise des clichés RX, une de numérisation des vues et d'initialisation du système et une de mesure. Nous décrivons la mise en équation et la détermination des coordonnées réelles.

On relève les coordonnées apparentes d'un point sur un couple de clichés, on applique les formules de corrections et on obtient ses coordonnées réelles.

### ABSTRACT

The catch of stereotypes X-ray introduces a conical projection phenomenon which introduce errors from 1 to 5 millimetres. To obtain the real position of anatomical point with precision, we show an original method of co-ordinate 3D calculation which takes account of system radiographic dimensions.

A point of space is located compared to the frame of reference of center O (medium of the segment materialized by olives). The frontal stereotype is selected like image of reference after having placed, a 4 mms metal ball on midface of patient. The side stereotype is obtained while making turn the patient of 90°.

The axial stereotype is obtained by rotation of the head, around horizontal olives axis. We suppose that the Source-Stereotype unit turns around the patient's head (considered fixed). The protocol comprises a stage of catch of stereotypes X-ray, a stage of digitalization of the sights and initialization of the system and a stage of measurement itself. We describe the setting in equation of real co-ordinate point determination.

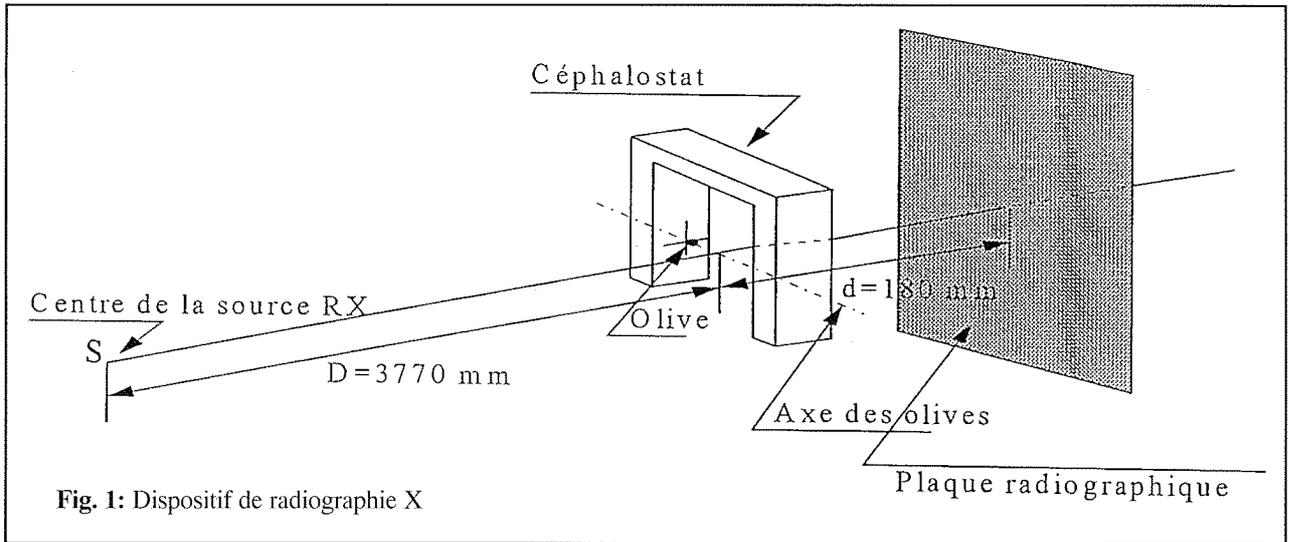
We apply to the apparent coordinate, the correction formulas we obtain the real co-ordinates of the point.

### INTRODUCTION

Odontologues et Orthodontistes utilisent les télécéphalogrammes d'un patient pris selon trois incidences (lateralis, frontalis, axialis), pour diagnostiquer une pathologie ou une dysmorphose. La fiabilité du traitement mis en oeuvre est fonction de la précision des

mesures obtenues à partir des clichés radiographiques. Les problèmes liés à la prise des vues doivent être éliminés pour obtenir les positions réelles des points anatomiques (ROUSSET et All, 1999).

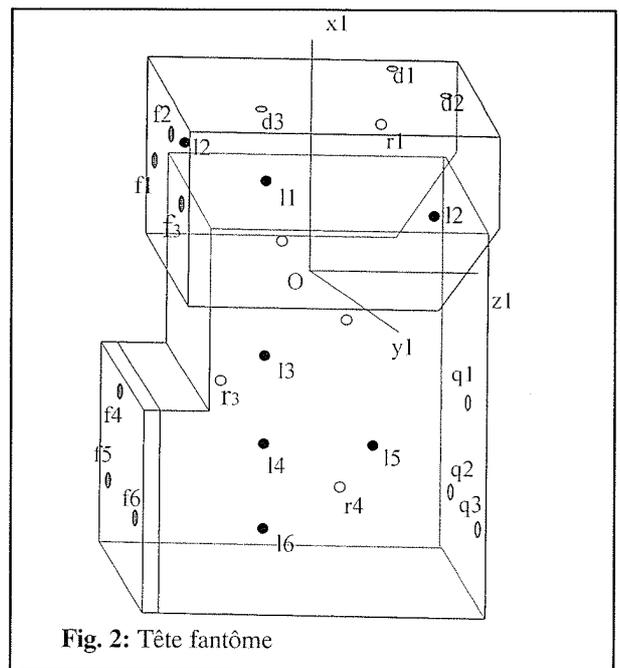
La résolution d'un cliché numérisé à l'aide d'un numériseur (NASR, 1988) est de l'ordre de 0,18 à 0,36 mm par pixel pour des images de formats respectifs



512x512 à 1024x1024 pixels. Cette incertitude apparaissant sur chaque coordonnée entraîne une erreur systématique de l'ordre de 0,312 à 0,623 mm sur une distance mesurée entre deux points de l'espace 3D. Compte tenu de la distorsion apportée par l'effet de projection conique du dispositif de radiographie X, cette précision ne peut pas être atteinte (ETIENNE et All, 1994). La figure 1 montre le schéma d'un dispositif de radiographie X et l'effet de projection conique dû au rayonnement ponctuel de la source (HORAUD et All, 1993), (LEMAIRE, 1997), (LETENEUR, 1997). Le dispositif de prise de vues comporte une source de rayons X, un "céphalostat" destiné à orienter la tête du patient et un porte cliché disposé derrière le sujet. La tête du patient est maintenue face à la source et immobilisée par l'introduction des "olives" du céphalostat dans les conduits auditifs ; mais elle conserve un degré de liberté par rotation autour de l'axe des olives (ETIENNE, 19987). Celui-ci est disposé perpendiculairement à l'axe de la source en position frontale ou axiale et, après rotation de 90° autour d'un axe vertical, il est confondu avec l'axe de la source en position sagittale. Pour réduire la distorsion due à la projection conique, il faut éloigner suffisamment la source du cliché (on respecte généralement une distance supérieure à 6 mètres entre le centre de la source et le plan du cliché), et réduire au maximum la distance du plan du cliché au plan sagittal médian du patient ( cette distance est de l'ordre de 180 mm) (Fig 1).

En respectant ces distances on réduit l'effet de parallaxe dû à la projection conique. Il est alors possible d'apprécier les positions réelles des pièces anatomiques par simple observation "de visu" des clichés. Mais, à cause du manque de place, la distance source-cliché n'est

pas toujours suffisante. Dans ce cas, lorsqu'il s'agit de calculer les coordonnées 3D des points anatomiques, avec un taux d'erreur de l'ordre de grandeur de celui introduit par la numérisation, on ne peut plus négliger l'effet de la projection conique. Pour un système radiographique où la source est située à une distance de 3770 mm de l'axe du céphalostat et à 3950 mm du plan du cliché, nous avons évalué les erreurs de parallaxe en utilisant un modèle dont la forme et les dimensions simulent la tête d'un patient. Cette "tête"(représentée Fig 2) comporte des amers métalliques de positions parfaitement connues (ROUSSET et All, 2000).



Le tableau 1 reproduit les coordonnées réelles et apparentes sur les clichés frontal, latéral et axial des amers 13, 14, 15 et r3, par rapport au centre O du repère situé au milieu du segment formé par les extrémités des olives. Les coordonnées de ces amers correspondent à des positions de points anatomiques placés dans la zone de la cavité buccale.

Les erreurs (Tab. 2) vont de 1 à 5 millimètres. Elles montrent que si l'on veut obtenir une précision suffisante, il est nécessaire de pratiquer des corrections. Pour cela nous avons mis au point une méthode de calcul des coordonnées 3D qui tient compte des dimensions du système radiographique et permet d'atteindre des précisions de l'ordre de grandeur de celles introduites par la numérisation.

Le tableau 2 reproduit les erreurs en millimètres introduites par la projection conique.

### EXPOSE DE LA METHODE

Un point de l'espace est repéré par rapport au système de coordonnées de centre o situé au milieu du segment matérialisé par les extrémités des olives (ZHANG, 1991). L'axe oz est confondu avec l'axe horizontal de la source X et dirigé vers le patient. L'axe oy est confondu avec l'axe horizontal des olives et dirigé

dans le sens joue droite-joue gauche du patient lorsqu'il regarde la source. L'axe ox, est vertical et dirigé vers le haut.

Pour notre étude, le cliché frontal est choisi comme image de référence. Il est obtenu en positionnant le patient face à la source. Le cliché latéral est obtenu en faisant tourner le patient de 90° pour qu'il présente son profil gauche face à la source. Le cliché axial est obtenu par rotation de la tête du patient, à partir de la position frontale, autour de l'axe horizontal des olives (position de BOUVET) (Fig 3).

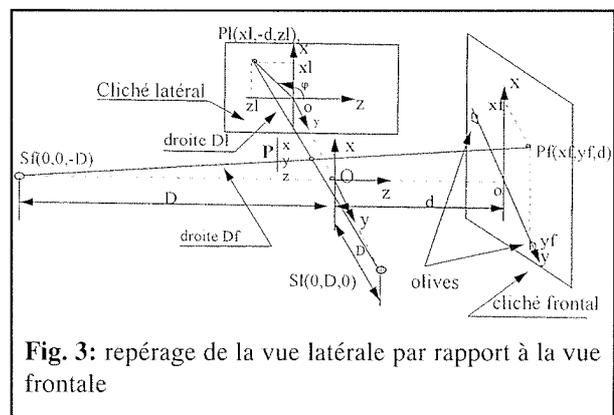


Fig. 3: repérage de la vue latérale par rapport à la vue frontale

Amers	Coordonnées réelles			Coordonnées apparentes					
	X	Y	Z	xf	yf	xl	zl	za	ya
13	-25	65,7	-29,5	-26,4	69,4	-26,7	-31,5	-31,1	69,3
14	-75,7	65,7	-30	-80	69,4	-80,7	-32	-32,1	70,25
15	-75,7	65,7	20	-78,9	68,5	-80,7	21,3	21,4	70,25
r3	-76	-66,1	-30	-80,3	-69,8	-78,3	-30,9	-32,1	-70,7

Tab. 1: cotes en mm par rapport au centre du repère

Amers	cliché frontal		cliché latéral		cliché axial	
	$\Delta xf$	$\Delta yf$	$\Delta xl$	$\Delta zl$	$\Delta za$	$\Delta ya$
13	1,4	-3,7	1,7	2	1,6	-3,6
14	4,3	-3,7	5	2	2,1	-4,55
15	3,2	-2,8	5	-1,3	-1,4	-4,55
r3	4,3	3,7	2,3	0,9	2,1	4,6

Tab. 2: erreurs en mm

$$A.\sin\varphi + B.\cos\varphi + C = 0 \quad (1)$$

avec  $A = -R.(D + d - yf)$  ;  $B = R.xf$  ;  $C = (D + d).xf$  (Ibis)

$$xl = R.\sin\varphi \quad ; \quad zl = R.\cos\varphi \quad (2)$$

$$x = \frac{D.xl.yf}{xf.(D + d) + xl.yf} \quad ; \quad y = x.\frac{yf}{xf} \quad ; \quad z = x.\frac{zl}{xl} \quad (3)$$

$$(D + d).\frac{z.\cos\theta - x.\sin\theta}{x.\cos\theta + z.\sin\theta + D} - za = 0 \quad (4)$$

$$x = \frac{D.xf.ya.\cos\theta}{yf.[(D + d).\cos\theta - za.\sin\theta] - ya.xf} \quad (5)$$

$$y = x.\frac{yf}{xf} \quad ; \quad z = \frac{y.[(D + d).\sin\theta + za.\cos\theta] - D.ya.\sin\theta}{ya} \quad (5)$$

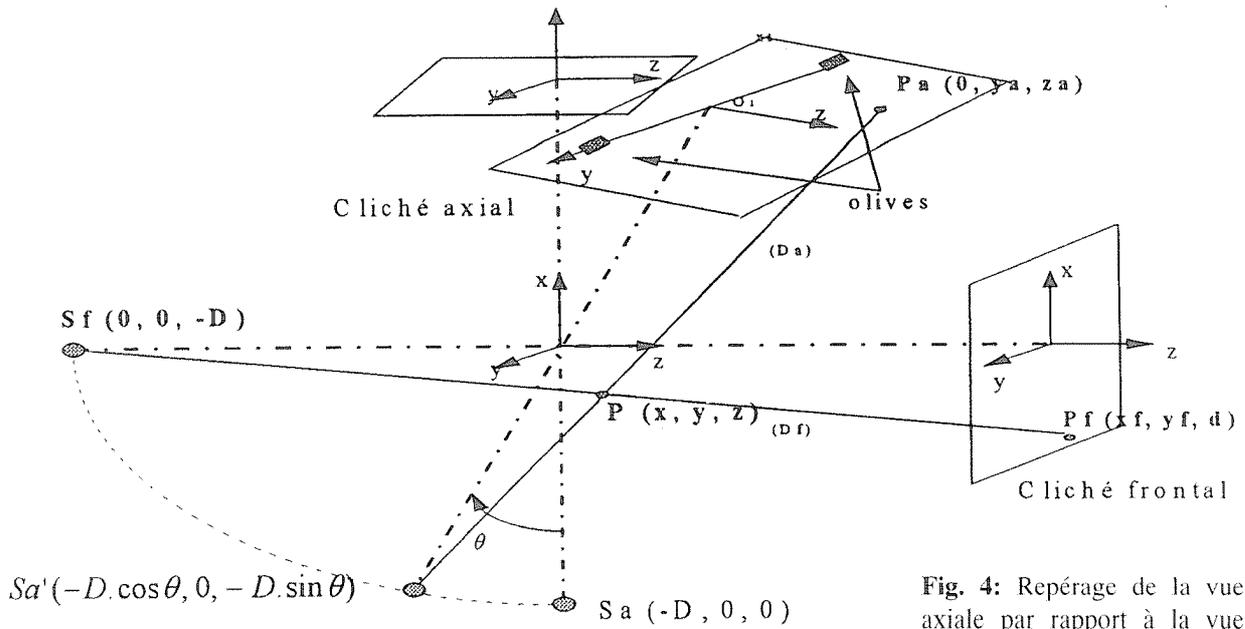


Fig. 4: Repérage de la vue axiale par rapport à la vue frontale

Pour la commodité des calculs, on suppose que c'est l'ensemble Source-Cliché qui tourne autour de la tête du patient (considérée fixe). Dans ces conditions, la figure 3 représente la vue du dispositif radiographique repéré par rapport au système de coordonnées, pour les prises de vues frontale et latérale.

Le protocole de mesure comporte 3 étapes: une étape de prise des clichés RX, une étape de numérisation des vues et d'initialisation du système et une étape de mesure proprement dite.

Avant de prendre les radiographies on place, au milieu du front du patient, une bille métallique de 4 mm de diamètre, que l'on maintient avec un sparadrap. Après avoir pris les clichés, selon les trois incidences, on doit les numériser.

La numérisation nécessite la mise en oeuvre d'un banc titre et d'un microordinateur du type PC, équipé d'une carte de numérisation d'images, et du logiciel qui la gère et qui pratique les calculs des coordonnées réelles des points. On numérisé le cliché frontal en faisant coïncider l'axe des olives avec un axe horizontal correspondant à l'axe oy (Fig 3). On trace l'axe ox vertical à partir du centre o situé au milieu du segment limité aux extrémités des olives.

On mesure ensuite, sur le cliché latéral, la distance R qui sépare le point représentant l'axe des olives du point marqué par la vue de la bille métallique, et sur le cliché frontal, on relève les coordonnées xf et yf de cette bille, (cf Fig 3). A l'aide de ces valeurs on calcule la valeur de l'angle j qui permet d'orienter le cliché latéral avant sa numérisation, de façon à ce que la direction du segment formé par le point de l'axe des olives et le point de la bille fasse un angle j avec l'axe horizontal correspondant sur cette vue à l'axe oz. Cette opération est appelée "orthogonalisation" de la vue latérale par rapport à la vue frontale. L'angle j est solution de l'équation (1) et (1 bis).

On relève les coordonnées apparentes xl et zl de la bille sur le cliché latéral ou on les calcule à l'aide des relations (2).

Avec les coordonnées xf et yf déjà relevées, on calcule les coordonnées réelles (x, y, z) de la bille, visible sur ces deux vues en appliquant les relations (3).

La relation (1) résulte de l'intersection des projections des droites DI et Df respectivement sur les clichés latéral et frontal. L'équation (3) résulte de l'intersection dans l'espace, des droites DI et Df de la figure 3.

On numérisé ensuite le cliché axial en faisant coïncider l'axe des olives avec un axe vertical

correspondant à l'axe oy. On trace alors l'axe oz perpendiculairement à oy et passant par le milieu O1 du segment formé par les extrémités des olives (Fig 4). Dans ces conditions, la source Sa' a pour coordonnées (-D.cosq, 0, -D.sinq) dans le repère (O, x, y, z), tandis que l'image Pa de P dans le plan du cliché axial repérée par rapport au système de coordonnées (O1, x1, y1, z1) a pour coordonnées (0, ya, za). Les coordonnées de cette image Pa dans le repère (O, x, y, z) sont alors : (d.cosq-za.sinq, ya, d.sinq+za.cosq).

Après avoir relevé les coordonnées ya et za de la bille sur le cliché axial, on calcule l'angle q solution de l'équation (4) qui résulte de l'intersection des droites Da et Df passant respectivement par Sa' et Pa, Sf et Pf.

A la suite de ce calcul, l'étape d'initialisation est terminée et on peut passer à l'étape de mesure.

Cette étape est différente suivant que le point dont on veut calculer les coordonnées réelles est visible sur les couples de clichés frontal-latéral, frontal-axial ou latéral-axial. Pour un point visible sur le couple frontal-latéral, on relève sur le cliché frontal les coordonnées apparentes du point (xf et yf) et sur le cliché latéral les coordonnées apparentes (xl, zl). Avec ces quatre valeurs on calcule les coordonnées réelles en appliquant les formules (3). Pour un point visible sur le couple de clichés frontal-axial, il suffit de relever les coordonnées apparentes du point (ya, za, xf et yf) respectivement sur les clichés axial et frontal et de calculer les coordonnées réelles à l'aide des formules (5) qui résultent de la mise en équation dans l'espace des droites Da et Df passant respectivement par Sa' et Pa, Sf et Pf.

Pour calculer les coordonnées d'un point visible sur le couple de clichés latéral-axial, il faut faire coïncider ses coordonnées apparentes sur ces clichés. Il faut pour cela "orthogonaliser" le cliché latéral par rapport à l'axial pris comme référence (Fig 4). Comme dans le cas latéral-frontal cela consiste à faire tourner le cliché latéral autour du point représenté par l'axe des olives de façon à ce que le segment d'extrémités axe des olives-bille forme un angle j' avec l'axe horizontal oz. Cet angle j' est solution de l'équation (6).

A l'aide de j' et des coordonnées apparentes du point (xl, zl, ya, et za) relevées respectivement sur les clichés latéral et axial, on calcule ses coordonnées réelles à l'aide des formules (7). Ces formules(6) et (7) sont obtenues à partir de la mise en équation des droites Da qui joint la source Sa' et la projection Pa de P dans le plan axial et DI qui joint la source SI et la projection PI de P dans le plan latéral.

**RESULTATS ET CONCLUSION**

Le tableau 3 reproduit les coordonnées réelles et recalculées à l'aide de la méthode proposée des points l3, l4, l5 et r4. Le tableau 4 donne les erreurs en millimètres.

En comparant ces erreurs avec celles du tableau 2 on peut apprécier l'effet de la correction apportée.

Les clichés RX sont des outils quotidiens de l'odontologiste et de l'orthodontiste. Pour une exploitation de plus en plus fiable des données obtenues sur ces clichés, il devient indispensable qu'ils soient le reflet réel des structures crânio-faciales. La diversité des

"bancs" techniques, l'effet de projection conique et la possibilité de mouvements parasites de la tête du patient sont autant de paramètres qui peuvent interférer sur les résultats et l'interprétation des clichés radiographiques. Pouvoir s'affranchir de ces contraintes est important pour le praticien. Pour un coût modique et une contrainte faible (bille sur le front du patient ou choix d'un point anatomique visible sur les trois vues) cette méthode permet une nouvelle approche morphologique et l'obtention des mesures réelles d'une structure dans l'espace va permettre une analyse de la sphère maxillo-faciale.

$$A \cdot \sin \varphi' + B \cdot \cos \varphi' + C = 0$$

$$A = R \cdot ya [((D + d) - ya \cdot \sin \theta + za \cdot \cos \theta)]; B = R \cdot ya \cdot [(ya - (D + d)) \cdot \cos \theta + za \cdot \sin \theta]$$

$$C = ya \cdot za \cdot (D + d) \quad (6)$$

$$x = R \cdot \sin \varphi' \cdot \frac{[ya \cdot D - D \cdot (D + d)] \cdot \cos \theta + D \cdot za \cdot \sin \theta}{(D + d) \cdot za \cdot \sin \theta - (D + d)^2 \cdot \cos \theta - R \cdot ya \cdot \sin \varphi'} \quad (7)$$

$$y = \frac{ya \cdot (x + D \cdot \cos \theta)}{(D + d) \cdot \cos \theta - za \cdot \sin \theta} \quad ; \quad z = x \frac{zl}{xl}$$

	X	Y	Z	Xfl	Yfl	Zfl	Xfa	Yfa	Zfa	Xla	Yla	Zla
l3	-25	65,7	-29,5	-25,3	66	-29,1	-25,4	66,1	-29,1	-25,3	66,1	-29,1
l4	-75,7	65,7	-30	-76	66	-29	-76,1	66,2	-29	-76	66,2	-29
l5	-75,7	65,7	20	-76	66	19,2	-76,3	66,2	19,2	-76	66,2	19,2
r3	-76	-66,1	-30	-76,5	-66	-29,9	-76,1	-65,7	-29,9	-76,5	-65,7	-29,9

**Tab. 3:** coordonnées en mm

	$\Delta Xfl$	$\Delta Yfl$	$\Delta Zfl$	$\Delta Xfa$	$\Delta Yfa$	$\Delta Zfa$	$\Delta Xla$	$\Delta Yla$	$\Delta Zla$
l3	-0,3	0,3	0,4	-0,4	0,4	0,4	-0,3	0,4	0,4
l4	-0,3	0,3	1	-0,4	0,5	1	-0,3	0,5	1
l5	-0,3	0,3	-0,8	-0,6	0,5	-0,8	-0,3	0,5	-0,8
r3	-0,5	0,1	0,1	-0,1	0,4	0,1	-0,5	0,4	0,1

**Tab. 4:** erreurs en mm

REFERENCES

**ETIENNE G.** - "L'imagerie radiologique dento-maxillaire. La formation de l'image."  
*Rev. La Prat. Dent.*, 2, 7-11, 1987

**ETIENNE G., ROTENBERG M., DUPUY-BONAFE I.** - "A propos des techniques radiologiques habituelles au cabinet dentaire" - *Rev. F. C. D.*, 160, 4-7, 1994

**HORAUD R. MONGA O.** - "Vision par ordinateur. Outils fondamentaux" - Paris, Hermes Ed 1993.

**LEMAIRE J.L.** - "Etude et réalisation d'un système de reconstruction 3D de pièces polyédriques par multivision" - Mémoire d'Ingénieur CNAM, Lille 1997

**LETENEUR O.** - "Contribution à l'étude et à la réalisation d'une chaîne de reconstruction 3D du ventricule gauche en mouvement, à partir de séquences échocardiographiques sous incidence apicale. Proposition d'une méthode d'analyse du mouvement de la paroi ventriculaire"  
Doctorat d'Université en électronique, Lille 1997

**NASR J.M.** - "L'imagerie numérique"  
Paris, Fréquence Ed. 1988

**ROUSSET M.M., SIMONEK F., WATTRELOT F., DUBUS J.P.** - "Réalités spatiales et position d'un point anatomique sur des images téléradiographiques"  
*Bull. Group. Int. Rech. Sci. Sim. et Odont.*, 41, 2-3: 84, 1999

**ROUSSET M.M., SIMONEK F., DUBUS J.P., LAFFORGUE P.** - "Téléradiographie en 3D: Méthode originale de correction" *Rev. C.D.F.*, 970: 26-27, 2000

**ZHANG Z., FAUGERAS O.** - "3D Dynamic scene analysis" - Springer Verlag Ed. 1991

*Auteur responsable:*

M.M. Rousset,  
Laboratoire de Morphogenèse céphalique et Prévention,  
UFR Odontologie,  
Place de Verdun 59045, Lille Cedex, FRANCE  
73 Avenue Marceau 59130 Lambersart France  
Tel: 03 20 92 39 90  
Fax: 03 20 09 33 74