

Méthode d'orthogonalisation de clichés radio X par traitement d'images autorisant la reconstruction 3D d'éléments de la tête

M.M. ROUSSET**, A. TALEB-AHMED*, S. REBOUL*, H. BLOCQUEL **, J.P. DUBUS*

* *Laboratoire de Mesures automatiques
Université des Sciences et Technologies de Lille
Bat. P3 3^e étage – 59655 Villeneuve d'Ascq – France*

** *Laboratoire de Morphogénèse Céphalique et Prévention
1 Place de Verdun – 59045 Lille – France*

RÉSUMÉ

Pour mieux connaître le déroulement de la croissance, nous pouvons disposer de plusieurs éléments radiographiques qu'il est parfois difficile de relier entre eux.

La réponse à ce problème peut être apportée par l'utilisation de moyens informatiques. Nous décrivons ici un logiciel qui autorise la reconstruction en 3D à partir de clichés radiographiques rayons X. Les trois clichés de face, de profil, et de dessous sont recadrés par le logiciel dans une étape dite « d'orthogonalisation ». Une fois celle-ci réalisée, n'importe quel point visible sur deux vues sera automatiquement visible sur la troisième..

MOTS CLÉS:

Imagerie – Radiographie – Céphalométrie – Analyse tridimensionnelle – Orthogonalisation – Reconstruction 3D – Informatique – Logiciel – Automatique.

ABSTRACT

In order to know better the unrolling of the growth, we dispose several radiographics elements which is sometimes difficult to connect with themselves.

Using the computer, may give us the solution to this problem. We describe here a soft which authorizes the 3D reconstruction dating from X-ray radiographic pictures. During step called orthogonalization, the three pictures from the front, from profile and from under, are retalling by the soft. When it's realized, any visible point from two views will automatically be visible in the third view.

KEY WORDS:

Imagery – Radiographic – Cephalometry – Threedimensional analysis – Orthogonalization – 3D reconstruction – Data processing – Software – Automatically.

INTRODUCTION

La croissance de la tête intéresse stomatologistes et odontologistes. Avoir la possibilité de qualifier et de quantifier ce développement, c'est permettre au praticien traitant ou à l'orthodontiste d'estimer et de choisir les moments favorables de son traitement. Une aide appréciable peut être apportée aux odontostomatologistes par un logiciel expérimental reproduisant la tête dans les trois sens de l'espace (5).

L'orthodontiste, pour étudier son patient, utilise deux types d'images, les clichés provenant du scanner, et les clichés radiographie rayon X. Ces dernières sont actuellement les plus utilisées par les praticiens, d'une part parce qu'elles offrent l'avantage d'être accessibles (prix de revient très faible) et d'autre part, parce qu'il existe un stock d'archives; enfin, trois radiographies sont plus faciles à stocker qu'un ensemble de coupes scanner. Ces clichés représentent deux dimensions de l'espace avec la superposition des différents plans de coupes, d'où des risques d'erreur et d'interprétation.

L'outil proposé va permettre d'une part, de reconstruire certains éléments dentaires ou osseux et, d'autre part, d'étudier l'évolution et la mise en place de l'occlusion (6). Un système autonome a été créé. Il permet, à partir de clichés radiographiques pris sous diverses incidences chez un même enfant, de reconstituer la tête en trois dimensions (3D). Il suffit pour étudier la croissance d'avoir une autre série de clichés du même sujet pris à un âge différent. Ce travail passe par l'élaboration d'un certain nombre d'étapes distinctes: orthogonalisation, reconstruction 3D, prétraitement et tracé de repères, calcul de surface et de volume. Nous aborderons chacune des étapes précédentes en énonçant les difficultés rencontrées et en proposant des solutions originales.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériels

Nous disposons pour cette étude d'une station d'acquisition d'images, dont le schéma est donné en figure 1; elle comprend un numériseur d'images et une carte graphique spécialisée 3D. Le numériseur d'images est une carte PIP noir et blanc de chez Matrox, son architecture est représentée sur la figure 2. La mémoire Vram possède une taille de 1024 Koctets dont la répartition d'adressage 2D est donnée figure 3. Nous voyons sur cette figure que la mémoire peut contenir soit quatre images de format 512*512 pixels, soit une image 1024*1024 pixels.

Pour une résolution maximale nous avons décidé de travailler sur les quatre plans (0, 1, 2, 3) images contenant chacun une image 512*512 pixels.

Méthodes

Les radiographies sont constituées de trois télécrânes (fig. 4) pris suivant trois directions, se référant à l'orientation du plan d'occlusion: de face (le frontalis), de côté (le latéralis), de dessous (l'axialis). Malheureusement ces trois clichés ne sont pas toujours perpendiculaires entre eux.

En théorie, le patient peut bouger selon les six directions de l'espace (fig. 5). Cependant, ces mouvements sont limités de différentes façons.

- Par les «olives» (tiges métalliques fixées sur le céphalostat) qui sont placées dans les conduits auditifs du patient.
- Par le radiologue qui guide le patient et minimise les mouvements possibles.

La première étape va donc consister à orthogonaliser les radiographies entre elles. Ce que nous appelons orthogonalisation est en réalité une opération connue en traitement d'image type stéréovision sous le nom de «recadrage caméra».

Le but de l'opération d'orthogonalisation consiste à disposer les trois vues de telle façon qu'en repérant un point quelconque du crâne sur deux vues, ce point soit automatiquement positionné sur la troisième vue.

Pour orthogonaliser les vues, il faut se donner des repères, visibles sur les trois clichés. Ces repères doivent matérialiser un solide qui ne s'est pas déformé au cours des prises de vue. Nous pouvons pour cela choisir des repères anatomiques: Epine nasale antérieure, sommets des condyles mandibulaires, par exemple, ou des repères artificiels.

Pour faciliter l'opération d'orthogonalisation, nous avons proposé de constituer un solide indéformable à l'aide de trois «points amers»: trois billes métalliques apposées sur la tête du patient avant les prises de vue: une au niveau de chaque tempe et une dans l'axe du front (fig. 6).

Des moyens graphiques manuels, utilisant les règles de bases de la géométrie dans l'espace ou du dessin industriel, ont été jusqu'à présent mis à la disposition des orthodontistes pour réaliser cette orthogonalisation (2), (3). Toutefois, ces moyens requièrent une manipulation fastidieuse. Nous proposons une première solution semi-automatique qui réalise cette opération à l'aide de la station d'acquisition donnée figure 1. Quatre temps successifs vont nous permettre d'orthogonaliser les trois téléradiographies.

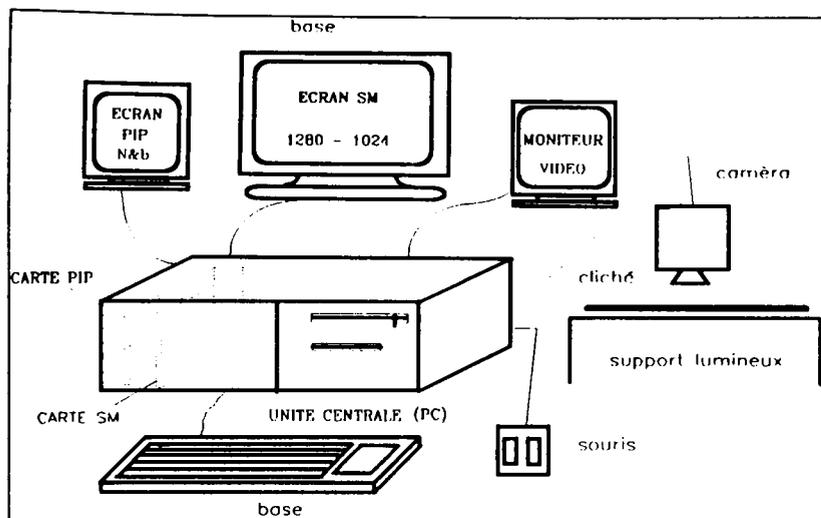


Fig. 1. Architecture générale.
Fig. 1. General architecture.

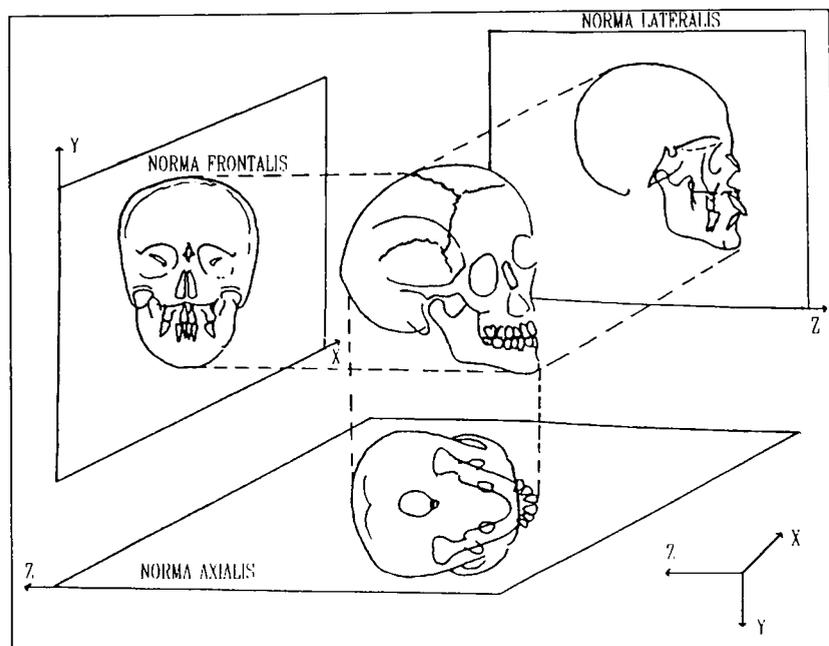


Fig. 4. Radiographies des télé-crânes (d'après Danguy M. et C. (2), (3)).
Fig. 4. Radiographics head.

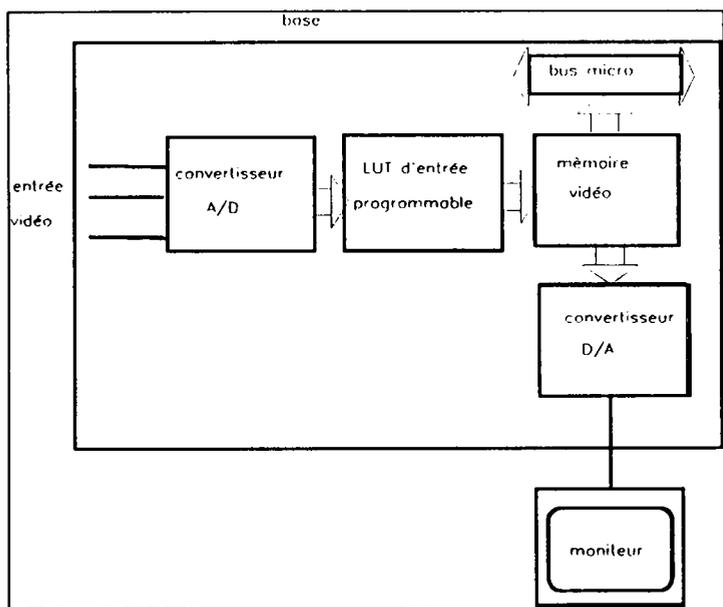


Fig. 2. Architecture de la carte d'acquisition.
Fig. 2. The architecture of card the acquisition.

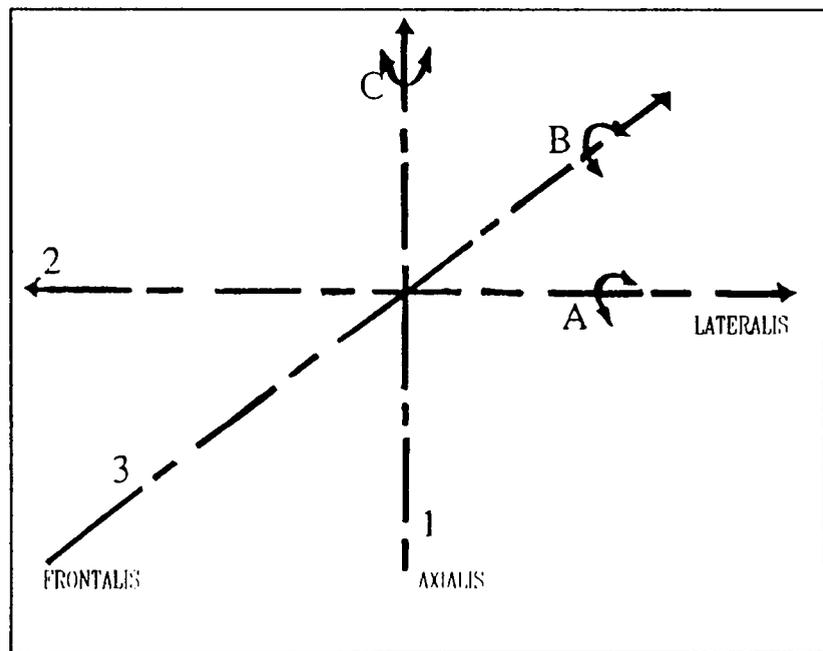


Fig. 5. Les différents mouvements possibles.
Fig. 5. The different possible movements.

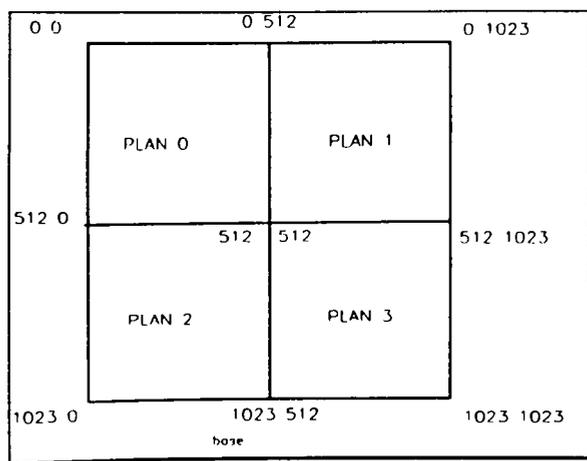


Fig. 3. Configuration mémoire carte acquisition.
Fig. 3. Configuration of memory card acquisition.

Orthogonalisation du Latéralis par rapport au Frontalis

1. Positionnement du Frontalis (fig. 7)

Le cliché retenu pour la référence de départ est le Frontalis: l'axe des olives est parfaitement visible sur ce cliché, et le passage des coordonnées des billes est relativement aisé vers le Latéralis ou l'Axialis.

Si le repérage est anatomique, l'épine nasale antérieure (ENA) se substitue à la bille frontale, le sommet des condyles mandibulaires (Pt Cond) aux billes des joues; les manipulations qui en découlent restent identiques à l'utilisation des repères métalliques (fig. 6').

Pour positionner le frontalis, deux lignes sont tracées sur l'écran graphique, l'une verticale et l'autre horizontale. En cas d'utilisation des repères métalliques,

l'opérateur centre le frontalis de telle manière que la bille frontale coïncide avec la ligne verticale et que l'axe des olives coïncide avec la ligne horizontale. Le frontalis est alors stocké dans la mémoire du numériseur d'images (plan 0) (fig. 3).

L'utilisateur repère les différentes billes et l'axe des olives (fig. 7) ou les points anatomiques et l'axe des olives (fig. 7'). Le logiciel enregistre alors les coordonnées des différents points ($x_0, x_1, x_2, y_0, y_1, y_2$).

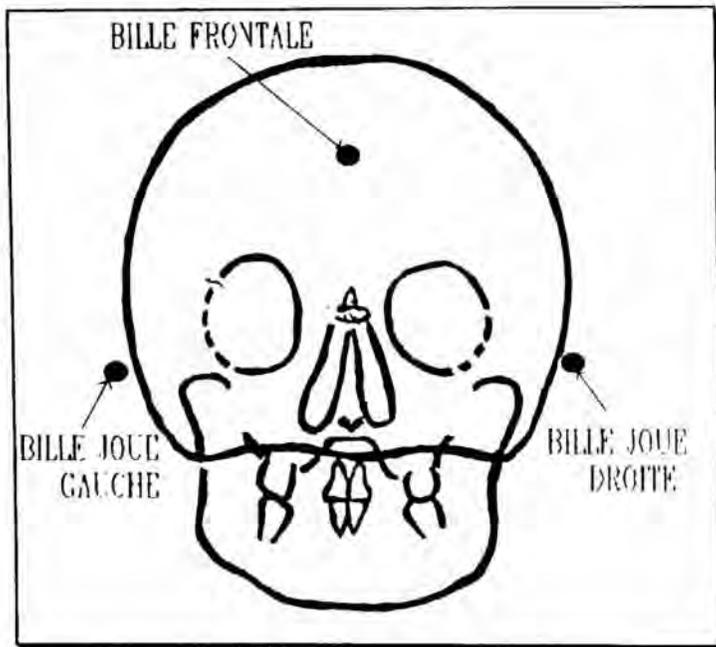


Fig. 6. Apposition de repères artificiels.
Fig. 6. Affixing marks.

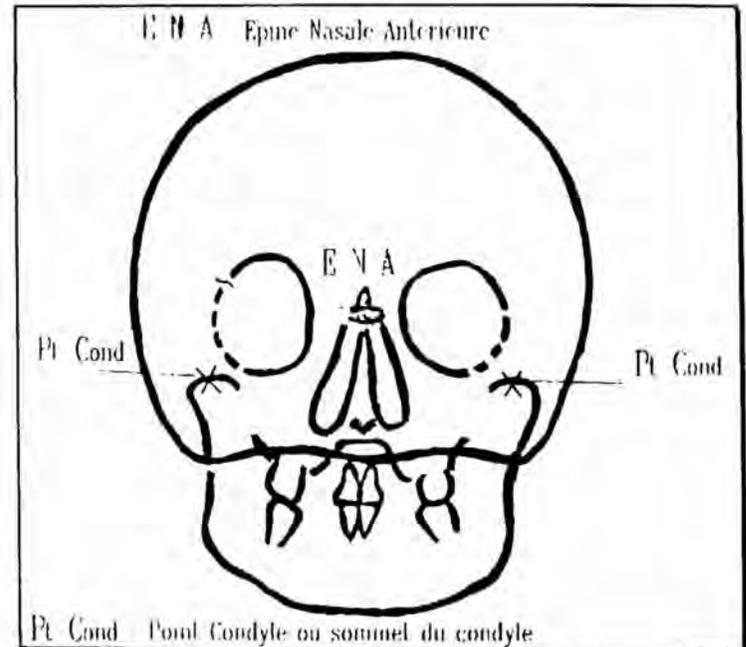


Fig. 6'. Repères anatomiques.
Fig. 6'. Anatomic marks.

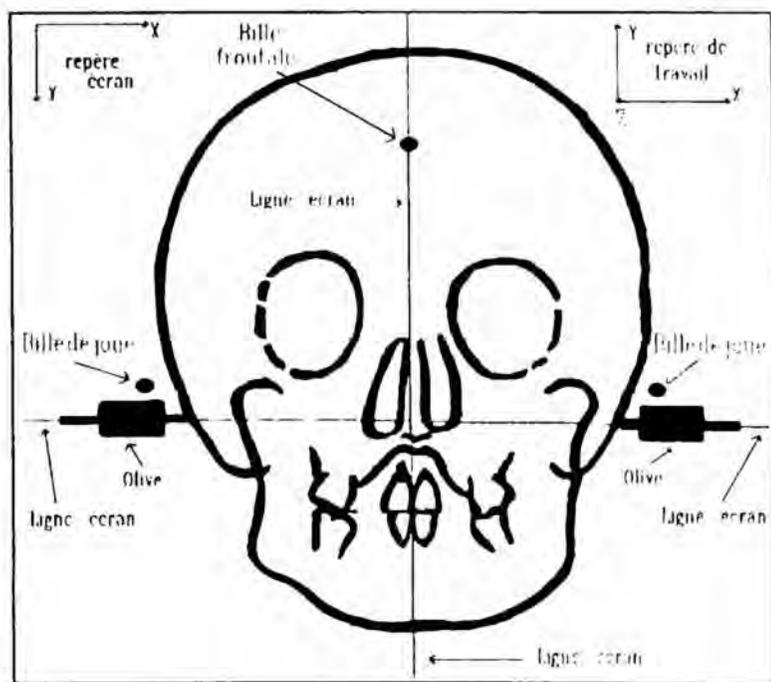


Fig. 7. Positionnement du frontalis.
Fig. 7. Place of frontalis.

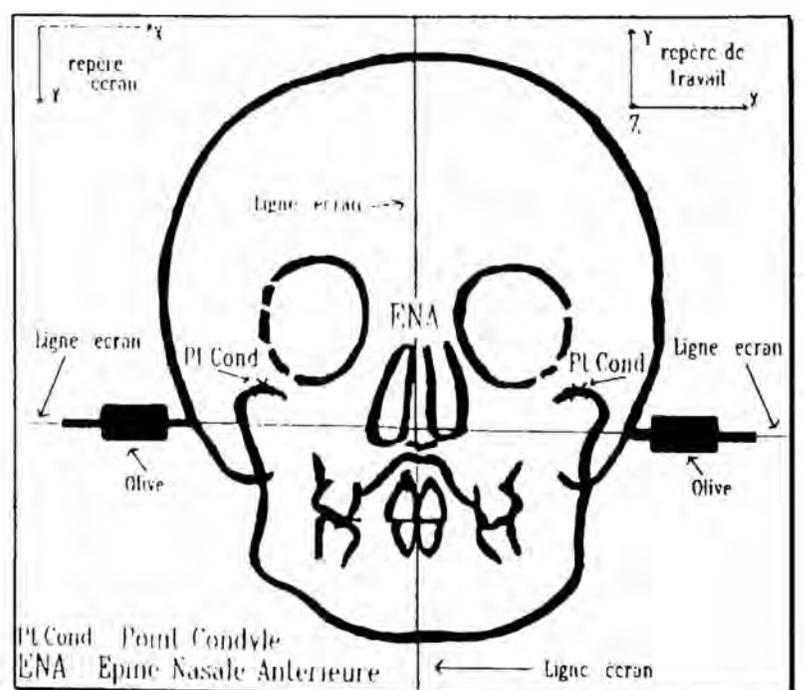


Fig. 7'. Positionnement du frontalis.
Fig. 7'. Place of frontalis.

2. Positionnement du Latéralis par rapport au Frontalis (fig. 8)

Sur la vue latérale de la tête, quatre lignes horizontales d'ordonnées «y» sont tracées sur l'écran graphique (fig. 8); elles proviennent du repérage des billes des joues, du front et de l'axe des olives. Si le repérage concerne les points anatomiques, les quatre lignes horizontales correspondront à ENA et aux Pts Cond. Par rotation du télé-crâne Latéralis autour de l'axe des olives, l'utilisateur fait manuellement, sur le négatoscope, coïncider l'axe de la bille frontale ou ENA avec la ligne horizontale supérieure (LHS) (fig. 8). Après cette opération, le cliché latéralis est dit «orthogonalisé» par rapport au frontalis. A l'aide de l'enregistreur manuel (souris), on repère la position de l'axe des olives (Alf), la position de la bille frontale (BFlf) et la position des billes des joues pour l'utilisation des repères métalliques, ou la position de ENA et des Pts Cond pour les repères anatomiques. L'image du cliché latéralis «orthogonalisé» par rapport au frontalis est stockée dans la mémoire de la carte d'acquisition Pip (plan 1) (fig. 3). Le logiciel enregistre les coordonnées des points ($y_0, y_1, y_2, z_0, z_1, z_2$).

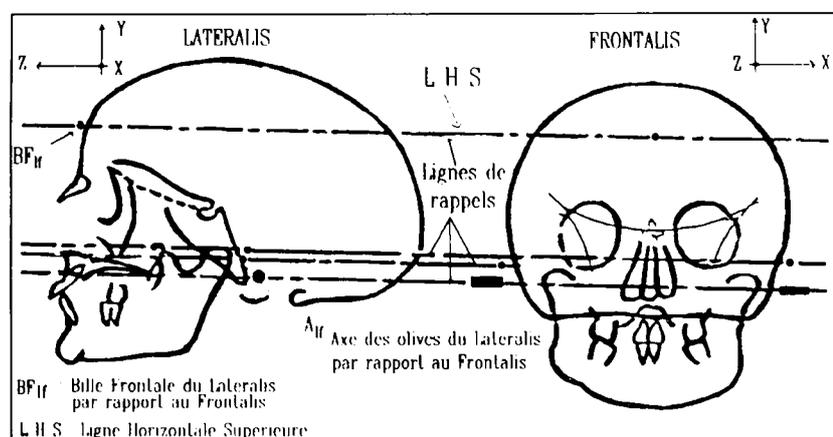


Fig. 8. Positionnement du latéralis par rapport au frontalis.
Fig. 8. Place lateralis from frontalis.

3. Prépositionnement de l'Axialis (fig. 9)

Le maintien des olives est trop douloureux pour le patient lors de la prise de vue du télé-crâne Axialis; le repère des olives n'est donc plus exploitable sur ce cliché. Les abscisses x_0, x_1, x_2 des billes sur les joues et sur le front dans le plan du cliché frontalis se reportent dans le plan du cliché axialis suivant trois axes horizontaux d'abscisses x'_0, x'_1, x'_2 .

L'utilisateur positionne le cliché axialis de façon à faire correspondre les billes ou les repères anatomiques avec les axes horizontaux d'abscisses x'_0, x'_1, x'_2 . La position suivant l'axe Oz' reste indéterminée dans cette phase. Le positionnement arbitraire sur l'axe Oz' est numérisée dans la mémoire de la Pip (plan 2) (fig. 3). Nous repérons les billes des joues et du front, ou ENA et les Pts Cond. Il s'agit maintenant de faire correspondre les éléments du cliché axialis avec ceux du cliché latéralis afin de déterminer le positionnement suivant Z_A .

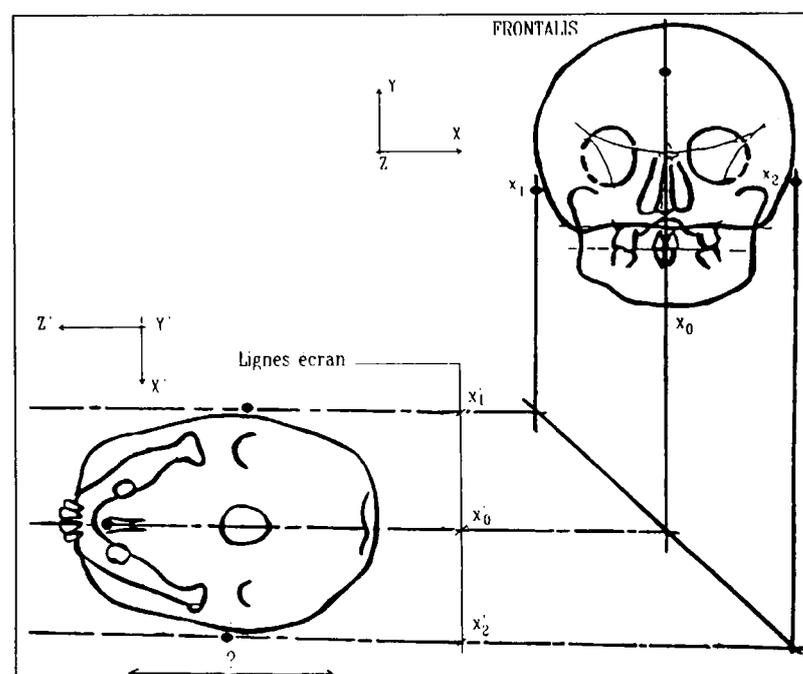


Fig. 9. Prépositionnement de l'axialis.
Fig. 9. Place of axialis.

4. Positionnement du latéralis par rapport à l'axialis (fig. 10)

Nous connaissons la cote z des billes (joues + front) ou des repères anatomiques dans l'axialis. Le logiciel trace trois lignes verticales (LV1, LV2, LV3) (fig. 10), correspondant à l'enregistrement effectué lors de l'étape d'orthogonalisation du cliché latéralis par rapport au frontalis. A partir de l'orthogonalisation du latéralis par rapport au frontalis, nous connaissons la cote en y et en z de l'axe des olives, on ramène sur le latéralis une ligne horizontale d'ordonnée y passant par l'axe des olives (YLH). Nous positionnons définitivement le latéralis pour que ces repères (billes des joues ou points anatomiques et l'axe des olives) correspondent avec les lignes de rappel issues du frontalis et latéralis (fig. 10). La position de l'axe des olives (Ala) et celle de la bille frontale (BFla) sont

enregistrées. L'image du cliché latéralis orthogonalisé par rapport au cliché axialis est stockée dans la mémoire de la carte d'acquisition Pip (plan 3) (fig. 3).

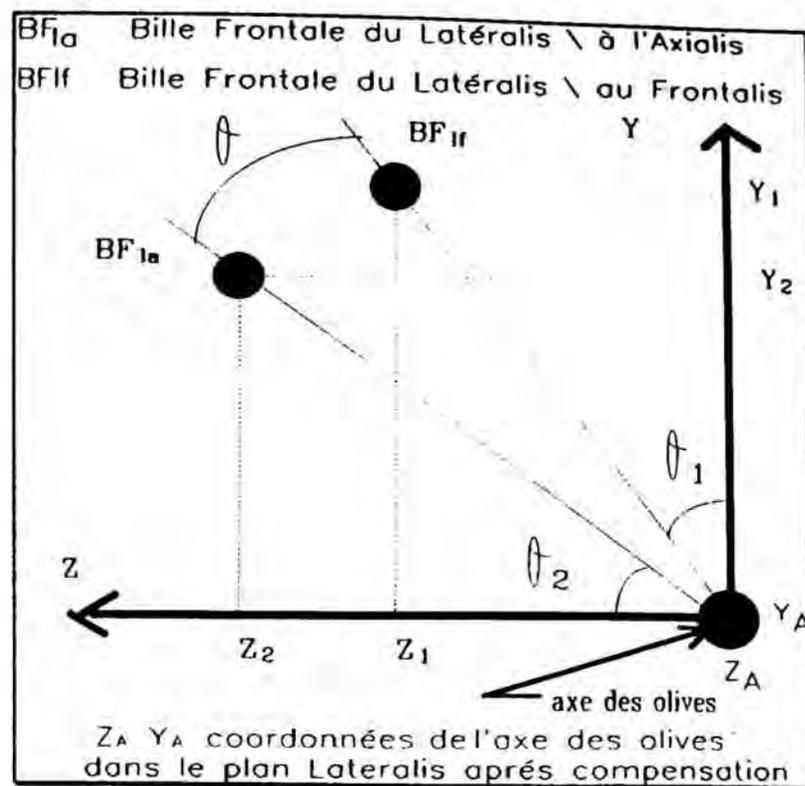
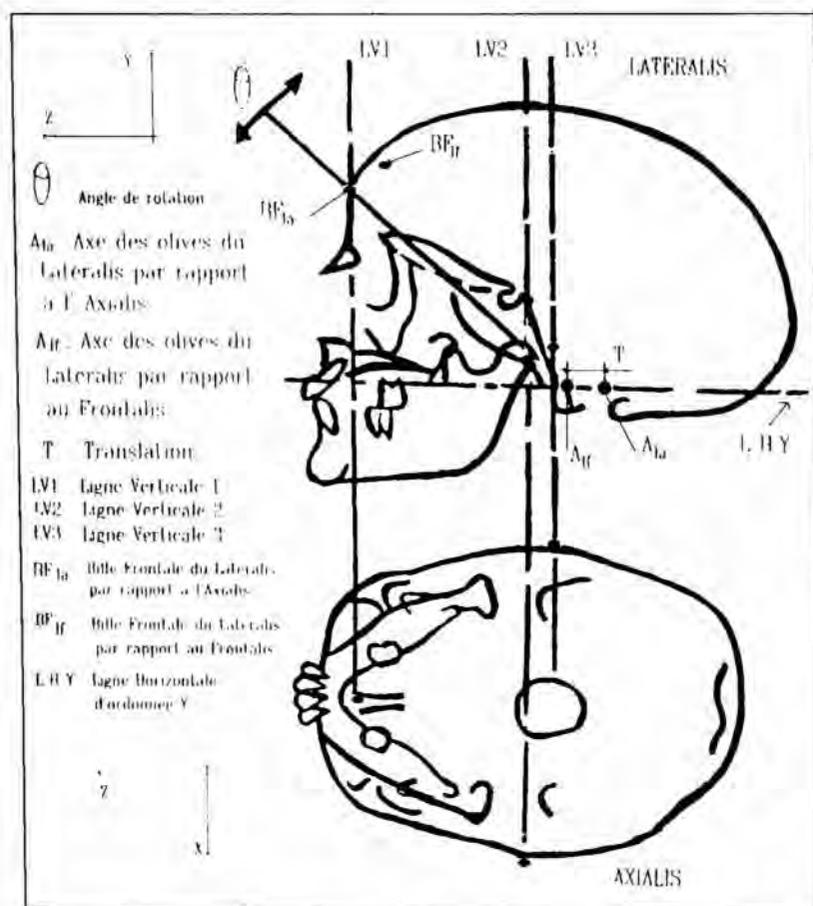


Fig. 11. Angle de rotation.
 Fig. 11. Resolve the angle of rotation.

$$\begin{aligned} \text{tg } \theta_1 &= (y_1 - y_0) / (z_1 - z_0) \text{ et} \\ \text{tg } \theta_2 &= (y_2 - y_0) / (z_2 - z_0). \\ \text{D'où: } \theta &= \pi/2 - \text{arctg } \theta_1 - \text{arctg } \theta_2. \end{aligned}$$

Cette formule mathématique est indispensable pour obtenir un repérage équivalent dans les trois sens de l'espace. Le raisonnement sera le même si nous utilisons les repères anatomiques (ENA et points condyles).

L'angle de rotation correspond au défaut d'orthogonalisation des clichés, et donne un positionnement différent dans l'espace du cliché latéralis. A partir de ce constat, nous pouvons compenser cet angle à l'aide de notre logiciel, et obtenir des clichés parfaitement orthogonalisés.

DISCUSSION

L'angle de rotation θ étant connu, un point repéré dans le frontalis, puis dans le latéralis, sera automatiquement reporté (par calcul de rotation) dans l'axialis. Toutes les combinaisons sont possibles dès qu'un point de l'espace est repéré dans deux vues, même si l'axe des olives ne peut être maintenu pendant la prise de l'axialis et même si l'information en

RÉSULTATS

Les différentes coordonnées du latéralis par rapport au frontalis et du latéralis par rapport à l'axialis sont maintenant connues. Le calculateur détermine alors la différence des cotes z de l'axe des olives du « Latéralis par rapport au Frontalis » et de l'axe des olives du « Latéralis par rapport à l'Axialis ». La translation, $T = |Alf - Ala|$, est ainsi compensée. L'algorithme tient compte du signe de cette translation. L'axe de rotation (Z_A, Y_A) est le même pour les deux vues Latéralis (fig. 11).

Les coordonnées de la bille frontale du latéralis par rapport au frontalis (BF1f) ainsi que les coordonnées de la bille frontale du latéralis par rapport à l'axialis (BF1a) étant connues, l'axe de rotation étant le même dans les deux vues, le logiciel calcule l'angle de rotation à partir de la relation suivante donnée par la figure 11.

Z manque pour ce cliché; les vues ayant été repérées deux à deux par rapport au latéralis. Cette absence de repérage initiale n'influe pas. Le logiciel que nous avons développé permet aux orthodontistes et aux odontostomatologues de tracer un certain nombre de trièdres et de vecteurs utiles pour l'étude de leurs patients. Si l'opérateur utilise des repères réputés fixes au cours de la croissance (1), il est possible alors d'effectuer des mesures de distances, d'angles entre les éléments dentaires ou osseux des maxillaires et ces repères. Des fonctions de rotation, translation, zoom permettent de visualiser sous diverses incidences les reconstructions réalisées (7).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Blocquel, H., Laude, M., Justin, J., Thilloy, G. — Le compas ptérygo-clivien: structure de superposition stable au cours de la croissance. *Bull. Group. Int. Rech. Sc. Stomat. Odont.*, 26, 4: 265-284, 1983.
- [2] Danguy, M. — L'exofase de l'adolescent et de l'adulte jeune: Etude d'une région «le prémaxillaire». Diplôme d'Etude et de Recherches en Biologie Humaine, n° 29, Amiens 1989.
- [3] Danguy Derot, C. — L'exofase de l'adolescent et de l'adulte jeune: étude d'une région «La symphyse mandibulaire». Diplôme d'Etude et de Recherches en Biologie Humaine, n° 30, Amiens 1989.
- [4] Taleb-Ahmed, A., Reboul, S., Salomé, F., Dubus, J.P. — «Méthode de reconstruction indirecte de la dentition à partir de deux clichés radiographiques en incidence orthogonale», Premier symposium international de l'image en relief. Paris 1991, communication.
- [5] Taleb-Ahmed, A. — «Etude de techniques de représentation 3D d'objets biologiques à partir d'acquisitions radiologiques X et IRM. Applications en neuroradiologie et morphogénèse céphalique», Thèse de doctorat en électronique. Lille, 1992.
- [6] Taleb-Ahmed, A., Reboul, S., Choquel, J.B., Blocquel, H., Dubus, J.P. — «Méthode de reconstruction 3D de la dentition en morphogénèse céphalique à partir de clichés orthographiques». Deuxième rencontre d'anatomie et d'imagerie de Lille 1992, communication.
- [7] Taleb-Ahmed, A., Reboul, S., Rousset, M.M., Waucquier, F., Dubus, J.P. — Investigation and 3D representation of children jaw in the course of the growth from X radiographics. *Proc. of the Ann. Int. Conf. of the I.E.E.E. Eng. in Med. and Biol. Soc. 14th Ann. Conf.* Paris 1992, communication.