



REPRESENTATION SYNTHETIQUE DE STRUCTURES ANATOMIQUES VISUALISATION PAR SYNTHESE
D'IMAGES *
COMPUTER REPRESENTATION OF ANATOMICAL STRUCTURES - DISPLAY OF COMPUTER GENERATED
IMAGES

C. BARILLOT, B. GYBAUD, L.M. LUO, J.M. SCARABIN
S. VELUT, J.J. MOREAU

Groupe de Recherche en Génie Biologique et Médical "Signaux et images en Médecine"
(J.M. SCARABIN) et Service de Neurochirurgie (Prof. J. PECKER) UNIVERSITE RENNES I

RESUME

Les études rapportées ont pour objectif d'étendre les applications de la synthèse d'images, et plus particulièrement de la synthèse d'images temps réel, au domaine médical.

Les auteurs montrent des représentations synthétiques de structures anatomiques obtenues à partir :

- . d'angiographies cérébrales (réseau artériel hémisphérique).
- . de coupes scanner X (crâne et mâchoire)
- . de modèles schématiques (sphénoïde)

Les logiciels interactifs développés permettent de manipuler ces structures dans l'espace 3-D, à des fins d'aide au diagnostic, à la thérapeutique et à l'enseignement.

MOTS CLES : synthèse d'images/tridimensionnel (3D)/triangulation/ Angiographie/ Scanner/ Anatomie cérébrale.

* Travaux réalisés en collaboration avec P. LERAY, responsable au C.C.E.T.T. des études de synthèse d'images pour la production audiovisuelle. (Centre Commun d'Etudes de Télédiffusion et Télécommunications, rue du Clos Courtel - 35 CESSON SEVIGNE

SUMMARY

The purpose of the studies which are presented is to extend the applications of computer graphics (and especially real-time computer graphics) to the medical field.

The authors show computer generated representations of anatomical structures obtained by different ways :

- . cerebral angiograms (blood vessels of a cerebral hemisphere)
- . computer tomographic data (skull and jaw bone)
- . schematic models (sphenoid)

the interactive software which has been developed allows to manipulate these structures in the 3-D space with the aim of helping diagnosis, therapeutics and teaching.

KEY WORDS : Computer graphics, three -dimensional (3D)/ triangulation/ Angiography/CT Scanner/ Cerebral Anatomy.

(Travaux soutenus par le Ministère de l'industrie et de la recherche : Contrat 83 MO 153).



INTRODUCTION

On assiste à l'heure actuelle à un extraordinaire développement de nouvelles techniques d'imagerie médicale (scanner, radiologie numérique, R.M.N. etc...). Elles ont comme particularités de produire des **IMAGES NUMERIQUES** qui se prêtent à l'utilisation des méthodes de traitement et de synthèse d'images 3D.

L'anatomie du corps humain se compose de structures tridimensionnelles (os, tissus, vaisseaux, etc...). La connaissance de la topographie de ces structures (normales ou pathologiques) peut être importante pour le diagnostic, pour la planification et l'exécution de gestes thérapeutiques. Les méthodes d'investigation modernes fournissent le plus souvent des informations sous la forme de projections bidimensionnelles ou de coupes de faible épaisseur qui ne donnent pas toujours une solution satisfaisante aux problèmes diagnostiques posés.

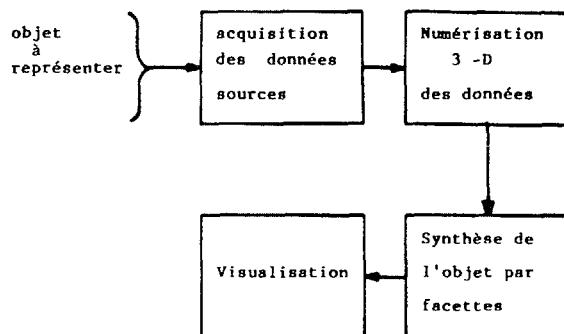
La synthèse d'images 3D peut apporter des solutions intéressantes en médecine pour résoudre ces problèmes. Cette méthodologie nécessite :

- . la constitution d'une base de données à partir des images médicales provenant de différentes sources (scanner X, radiologie numérique, RMN, etc...)
- . l'utilisation d'un matériel et d'un logiciel de visualisation et de manipulation (temps réel) de ces bases de données.

Les auteurs présentent leurs premiers résultats de visualisation synthétique d'images médicales (réseau vasculaire cérébral, ostéologie du crâne, modèle anatomique).

1 - METHODES

Quel que soit l'objet réel que l'on veut représenter en 3D puis visualiser par synthèse d'images, la méthodologie utilisée pour constituer une base de données se résume toujours en quatre étapes :



1.1. acquisition des données sources (images) de l'objet à représenter

Ces images constituent un premier niveau de description des objets. Elles sont obtenues par différents procédés (photographique, examen radiologique, modèle schématique, etc)

1.2. Numérisation 3D des objets

Des images précédentes sont extraites des informations numériques qui caractérisent la forme de l'objet en 3D, selon différents modèles :

- segments de cylindre pour la représentation des vaisseaux.
- Contours parallèles pour des structures osseuses, etc...

1.3. Constitution de bases de données visuelles par synthèse d'images

Le but étant la visualisation de l'objet, on comprend aisément qu'un ensemble de points n'en constitue pas une représentation suffisante. C'est pourquoi on choisit d'associer ces points en constituant des facettes polygonales (3, 11, 15). Ce type de représentation des objets (sous forme d'assemblages de facettes polygonales) permet d'utiliser des algorithmes de visualisation par synthèse d'images très répandus (5, 14, 18). Quelle que soit la technique d'acquisition employée, les bases de données seront toujours constituées de facettes. On peut ainsi mélanger, manipuler (transformations géométriques, extraction des zones privilégiées; etc...) puis visualiser simultanément des bases de données d'origines différentes.

1.4. Visualisation par génération synthétique d'images

A partir de paramètres d'observation (point observé, directions d'observation et d'éclairage, champ de vision, ...) on visualise la base de données en projetant les différentes facettes sur le plan d'observation. Le calcul de l'image passe par différentes étapes :

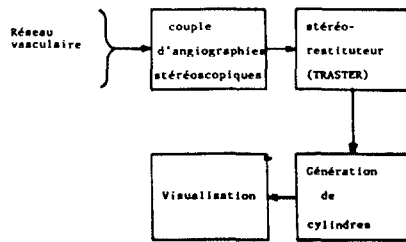
- le prétraitement de l'image comprend la rotation de la scène en fonction de la direction d'observation, le calcul des ombrages en fonction de l'éclairage, le découpage de l'image par les bords de l'écran (clipping) et la déformation de la scène due à la perspective.
- l'affichage de l'image est réalisé à l'aide d'un générateur de facettes. Celui-ci remplit les contours polygonaux des objets selon la couleur affectée à chaque facette et en tenant compte de l'ombrage précédemment calculé.
- l'élimination des parties cachées des objets est faite par un buffer de profondeur (Z-BUFFER)

Ces algorithmes sont testés sur un calculateur VAX 750 (Digital Equipment). Une machine de visualisation rapide (voire temps réel) est en cours de réalisation (13).

2. RESULTATS

2.1. Représentation d'un réseau vasculaire cérébral

Selon le principe général décrit, cette représentation se fait en quatre étapes :



2.1.1. Visualisation du réseau vasculaire à l'aide d'un couple d'angiographies stéréoscopiques

Cet examen se fait par l'injection d'un embol de produit de contraste dans la lumière de l'artère vascularisant le territoire à examiner (la carotide interne par exemple).

L'utilisation de deux incidences de prise de vues, faisant entre-elles un angle de 6° permet d'obtenir une série de couples stéréoscopiques (concernant les artères ou les veines) qui peuvent être visualisés en relief à l'aide d'un système de restitution stéréoscopique (17-24).

2.1.2. Numerisation 3D du réseau vasculaire cérébral

Ce dernier peut être représenté sous la forme d'une succession de cylindres élémentaires d'épaisseurs variables. Le processus de numérisation consiste à recueillir les coordonnées de points de l'axe de chaque vaisseau (points plus ou moins rapprochés selon la courbure du vaisseau) ainsi que leurs épaisseurs successives.

Ces opérations de pointés dans l'espace ont été réalisées à l'aide d'un stéréo-restituteur analytique (TRASTER*, fig. 1). Cet appareil permet de restituer en relief, un couple de clichés (radiologiques ou photographiques) stéréoscopiques. L'opérateur déplace un réticule dans le modèle stéréo pour y effectuer des pointés tridimensionnels (8,9)

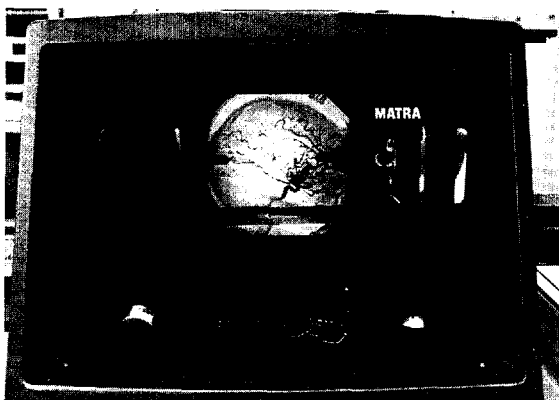


Figure 1 : Stéréorestituteur TRASTER

* Stéréorestituteur construit par MATRA Division Systèmes de Contrôle Optique.

2.1.3. Génération des cylindres

La base de données est structurée en un ensemble d'éléments appelés <vaisseaux> ; chacun est décrit par une succession de points appelés <centres> auxquels sont attribués des coordonnées spatiales $\langle x, y, z \rangle$ et un diamètre <diam> égal à la section du vaisseau à cet endroit.

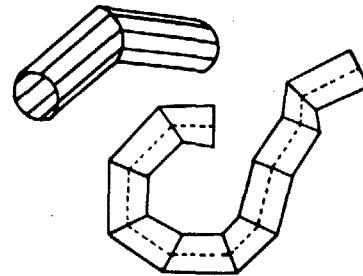


Figure 2

Chaque cylindre est constitué de facettes s'appuyant sur deux cercles de diamètre <diam> générés autour de deux <centres> consécutifs (figure 2). La juxtaposition des différents cylindres permet une représentation approchée de la forme d'origine.

2.1.4. Visualisation du réseau vasculaire cérébral

Un couple artériel stéréoscopique de profil a été utilisé (à partir d'un examen stéréotaxique, fig. 3a, 3b). Sur cette incidence, il est possible d'observer deux territoires vasculaires venant de la carotide interne : celui de la cérébrale antérieure (située dans le plan passant par la scissure interhémisphérique), celui de la sylvienne (situé à la convexité de l'hémisphère cérébral).

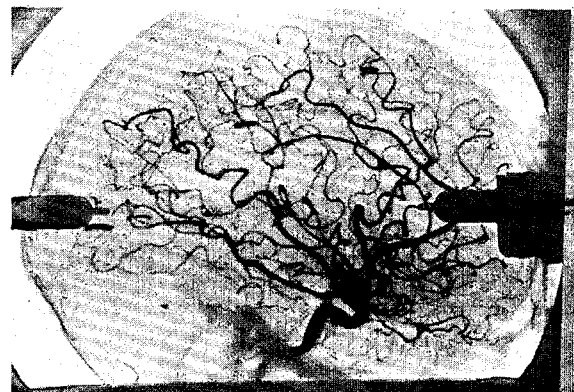


Figure 3a

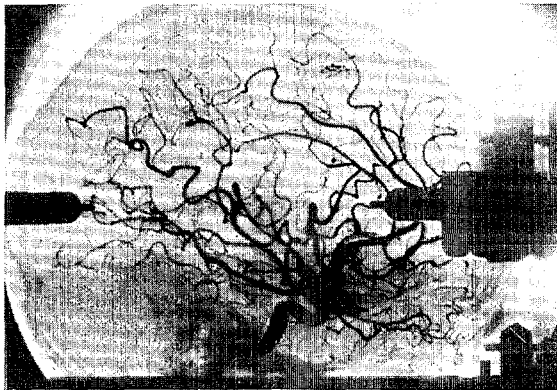


Figure 3b

La représentation synthétique 3D permet une visualisation (en volume) non seulement de l'incidence de profil (fig. 4a) mais également sous n'importe quelle incidence, en particulier de 3/4, de face et de dessus (fig. 4b - 4c - 4d). A notre connaissance, c'est la première fois que de telles images sont présentées dans la littérature.

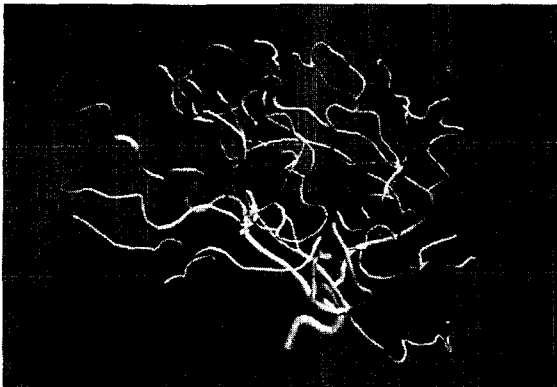


Figure 4a



Figure 4b

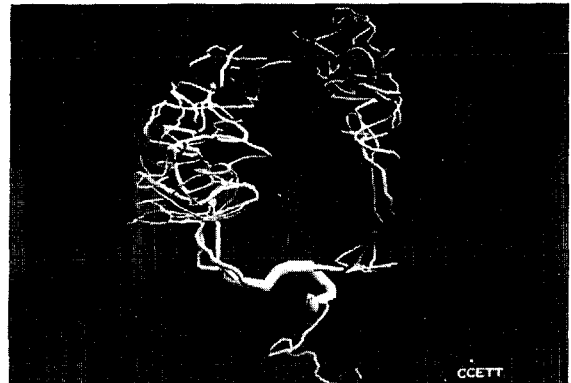


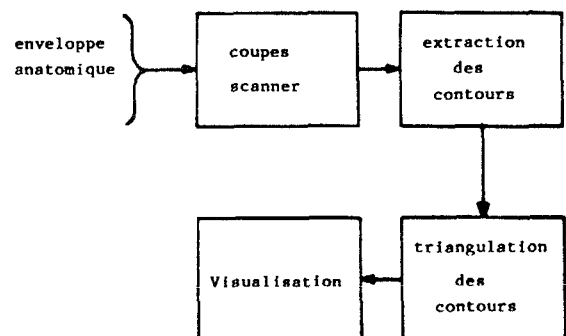
Figure 4c



Figure 4d

2.2. Représentation d'un crâne

La procédure conduisant à la représentation synthétique 3D d'une enveloppe anatomique (par exemple crâne, structure ventriculaire, etc...) se décompose comme suit :



2.2.1. Visualisation de structures cérébrales à l'aide de coupes scanner

Les images proviennent ici d'une succession de coupes scanner qui échantillonnent le volume cérébral étudié. Le scanner permet la mesure des densités des tissus dans des plans axiaux transverses successifs.

2.2.2. Extraction des contours

On sélectionne, au sein des coupes successives, les contours des structures que l'on désire représenter (par exemple : mâchoire, exocrâne, endocrâne, ...). Ces contours sont numérisés sur une tablette graphique et associés entre eux suivant leurs positions dans l'espace cérébral. On dispose ainsi d'un ensemble de points situés sur la surface de l'objet à représenter et structurés en contours parallèles.

2.2.3. Triangulation des contours

La génération des facettes est obtenue par un logiciel de triangulation automatique. La méthode employée est fondée sur une analyse globale, à partir d'un graphe, de la disposition des points entre deux contours associés. Cette méthode, proposée par Keppel puis Fuchs, permet une triangulation optimale de deux contours parallèles, au sens d'un critère donné (volume maximal, surface minimale, somme des longueurs des arêtes minimale, etc). On reconstruit la surface de l'objet en triangulant les différentes paires de contours adjacents (2,6,7,12,16,22).

2.2.4. Visualisation d'enveloppes anatomiques

A partir des coupes scanner fines réalisées sur une tête, on peut visualiser le crâne de profil (fig. 5a), de face (fig. 5b), de 3/4 (fig. 5c), ainsi que la mâchoire (fig. 5d). Une photographie d'une pièce anatomique de référence est représentée sur la fig. 5e



Figure 5c



Figure 5d



Figure 5e

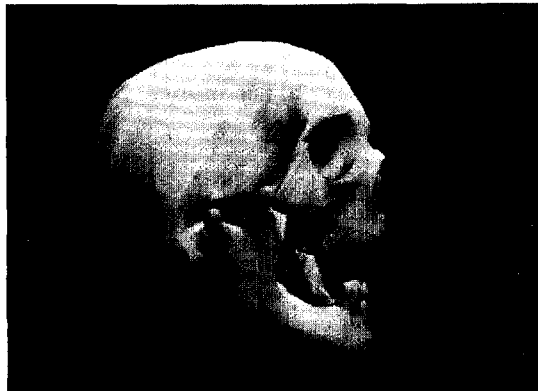


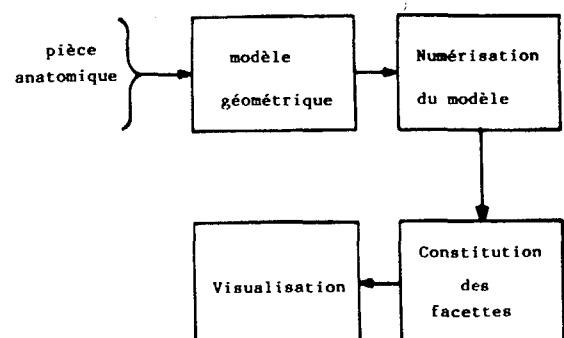
Figure 5a



Figure 5b

2.3. Représentation d'un modèle anatomique

La démarche est toujours identique au principe de base proposé.





Cette représentation prétend donner une vision schématique (modélisée) de l'objet. En effet, en présence d'un crâne réel, il s'avère difficile de présenter les pièces osseuses constitutives et d'en montrer leurs aspects tridimensionnels. La réalisation d'un modèle schématique 3D rend plus accessible la conception de leurs formes et de leurs liens respectifs.

2.3.1. Représentation de la pièce anatomique par un modèle géométrique

La pièce anatomique est décrite par des dessins géométriques qui schématisent sa forme (fig. 6)

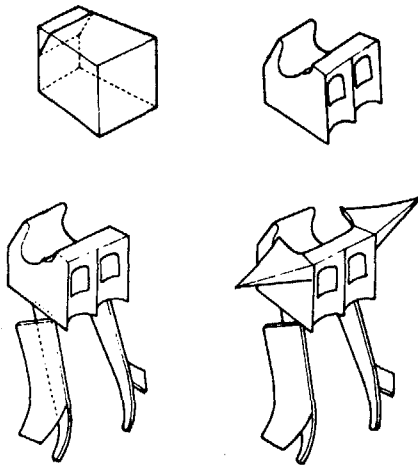


figure 6

2.3.2. Numérisation du modèle

Les points caractéristiques du modèle sont quantifiés à partir de leurs positions sur la pièce réelle.

2.3.3. Constitution des facettes

On constitue les facettes en associant entre eux, les points qui appartiennent aux mêmes portions de surfaces planes.

2.3.4. Visualisation d'un modèle anatomique : Le SPHENOÏDE

La modélisation a été réalisée à partir de schémas proposés par J.J. SANTINI(19) dans son atlas d'ostéologie du crâne. Le sphénoïde représenté ici, comprend d'abord un corps creusé d'une cavité, le sinus sphénoïdal qui s'ouvre vers l'avant par deux orifices : ostium sphénoïdal droit et gauche. Ce cube est amputé à sa partie postérieure et supérieure, sa face supérieure est creusée en forme de selle de cavalier. Autour du corps viennent se souder plusieurs apophyses : les petites ailes situées latéralement dans le plan de sa face supérieure (elle est creusée, à sa base, du canal optique) ; les apophyses pterygoïdes sont greffées à sa face inférieure formant un angle diedre ouvert en arrière (fig. 6 ; n'ont pas été représentées ici les grandes ailes du sphénoïde); les figures 7a - 7b montrent en volume la modélisation de cet os. La représentation de tous les os du crâne est en cours de réalisation.

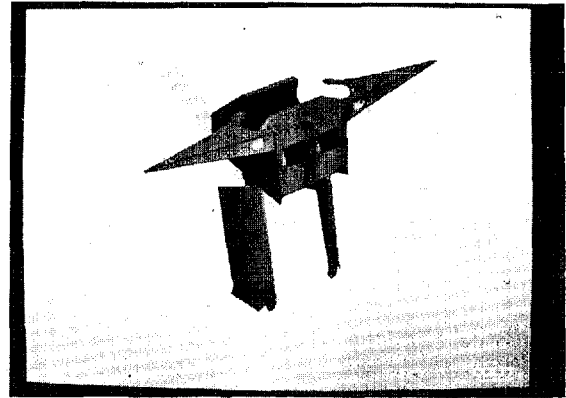


Figure 7a

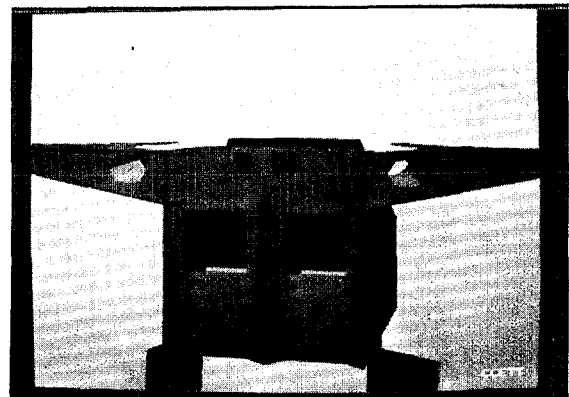


Figure 7b

3. DISCUSSION

3.1. Visualisation du réseau vasculaire cérébral

Le mode de représentation synthétique proposé nous paraît bien adapté au besoin médical :

- la technique de numérisation utilisée (stéréorestituteur) permet d'effectuer un relevé tridimensionnel précis de la topographie du réseau vasculaire cérébral.
- la possibilité de visualiser la base de données sous différentes incidences constitue pour le médecin un progrès décisif: en effet, en neurochirurgie, la méthodologie stéréotaxique permet de recueillir des informations radiologiques concernant les vaisseaux sous deux incidences face et profil ; or la complexité et l'imbrication du réseau vasculaire rendent l'analyse 3D de ces structures difficiles.

Actuellement, le délai nécessaire à la numérisation des vaisseaux (1 heure 30 pour l'exemple proposé) nous paraît être un obstacle à l'utilisation clinique courante de la méthode.

L'apparition de la radiologie numérique ouvre la porte à des progrès importants dans ce domaine : la qualité des images obtenues, la possibilité de les recueillir selon différentes incidences, la souplesse de traitement apportée par le numérique laissent espérer que des méthodes de numérisation 3D (plus ou moins automatiques) seront mises au point dans un proche avenir (4, 21).

La chaîne d'analyse et de synthèse d'images ainsi constituée nous paraît devoir constituer dans l'avenir un outil précieux pour le médecin, en particulier pour la pratique chirurgicale (diagnostique et thérapeutique) ainsi que pour l'enseignement de l'anatomie.

3.2. Représentation de structures anatomiques cérébrales à partir de coupes scanner

Les facilités offertes par la synthèse d'images pour la visualisation ne sont pas différentes de celles évoquées précédemment par contre la méthodologie utilisée pour constituer les bases de données prête à discussion : il convient de faire la distinction entre des représentations de pièces anatomiques et celles qui concernent des organes in vivo.

Si la technique de recueil des points utilisée est envisageable pour les premières (pour les applications d'aide à l'enseignement de l'anatomie par exemple), en revanche la représentation d'organes à partir de données obtenues in vivo requiert des méthodes de reconnaissance de formes quasi-automatiques.

En outre le principe même de la numérisation d'objets à partir de coupes parallèles présente un certain nombre d'inconvénients (20) :

- il convient tout d'abord de remarquer que, généralement, les tomodynamètres ne permettent pas un échantillonnage axial aussi précis que celui obtenu dans le plan de coupe : de ce fait, les régions de l'objet tangentielles au plan de coupe seront moins bien représentées que celles qui leur sont perpendiculaires.
- en outre, au sein d'une coupe particulière, le nombre de points du contour pourra être choisi en fonction de la courbure de ce contour, par contre dans la direction axiale le pas de discrétisation sera imposé par des variations locales entre les deux coupes pouvant provoquer par ailleurs un sur-échantillonnage inutile au niveau de surfaces voisines continues (fig. 8a)

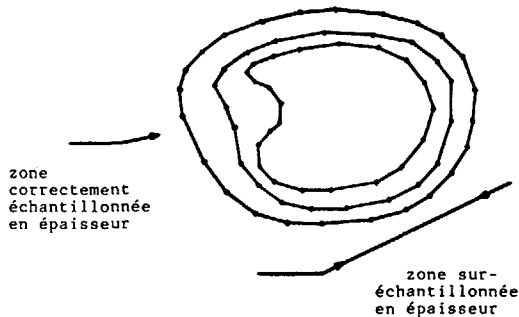


Figure 8a

- enfin, la méthode de reconstruction de la surface nous paraît difficile à automatiser. Même en supposant résolu le problème de la détection et du suivi des

contours au sein d'une coupe, il reste à résoudre celui de l'identification des contours à relier entre eux d'une coupe à la suivante. Le problème se trouve compliqué par des phénomènes de subdivisions de contours en plusieurs sous contours (fig. 8b).

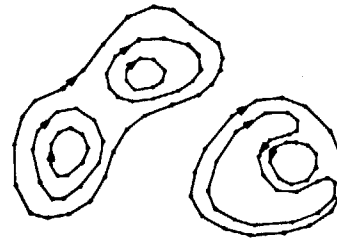


Figure 8b

Ceci illustre le fait que la connectivité est une propriété tridimensionnelle de l'objet qu'on ne peut projeter simplement au niveau de coupes bidimensionnelles successives.

On peut penser que les méthodes de détection les plus efficaces sont des méthodes globales qui abordent l'objet directement en 3D. Les méthodes et les résultats obtenus par Herman et Udupa (1, 10, 23) par exemple sont encourageants puisque des applications cliniques sont d'ores et déjà en cours (radiothérapie et chirurgie réparatrice). C'est dans cette voie que nous pensons maintenant nous engager, tout en conservant un mode de représentation de l'objet sous forme d'assemblage de facettes ; en effet cette double option permet d'associer une technique de numérisation performante et un mode de visualisation rapide.

3.3. Représentation d'un modèle anatomique

Face à l'observation d'un crâne (fig. 5e) on peut observer la grande complexité des différents os constitutifs : la schématisation tridimensionnelle de chaque os en rend plus accessible la conception de sa forme et des rapports existant entre chacun d'eux. L'utilisation des techniques de synthèse d'images pour la création de ces modèles offre d'extraordinaires possibilités d'enseignement de l'anatomie humaine. L'utilisation d'images 3D, mobiles, à volonté, réalistes, attrayantes débouche sur des techniques d'enseignement assisté par ordinateur (E.A.O.).

4. CONCLUSION

Un certain nombre de méthodes de constitution de bases de données ont été proposées et décrites. Celles-ci ont été mises en oeuvre pour visualiser différentes structures anatomiques cérébrales (réseau artériel, crâne, mâchoire) ainsi que des modèles géométriques (os sphénoïde).

Ces premiers résultats permettent d'orienter les travaux futurs.

La limitation actuelle de la méthode se situe au niveau de la constitution de la base de données. En particulier la représentation d'organes in vivo, pour être utilisable



ble en clinique médicale, nécessite la mise au point de méthodes performantes d'analyse 3-D d'images (radiologie numérique, scanners) ; il est important de développer cet aspect.

La technique de synthèse d'images proprement dite paraît très prometteuse : en particulier la manipulation en temps réel des objets permettra une analyse 3-D extrêmement précise ; en outre la possibilité de mélanger au sein d'une même image des objets provenant de différents examens (angiographies, scanner, etc...) ouvre des perspectives intéressantes pour la préparation des actes chirurgicaux.

B I B L I O G R A P H I E

- (1) E. ARTZY, G. FRIEDER, G.T. HERMAN
The theory, Design, Implementation and Evaluation of a three-dimensional surface detection algorithm (1981). Computer graphics and image processing Vol. 15 p. 1-24
- (2) S. BATNITZKY, H.I. PRICE, P.N. COOK, L.T. COOK and S.J. DWYER III - Three - dimensional computer reconstruction from surface contours for head C.T. examinations (1981) Journal of Computer assisted Tomography Vol. 5 n° 1 p. 60-67
- (3) J.D. BOISSONNAT, O.D. FAUGERAS -Triangulation of 3D objects - 7 Th international Conference on artificial Intelligence (1981) Vancouver.
- (4) J. CAMILLERAPP, Y. LEPLUMEY -Codage de contexte et détection au moyen de règles de réécriture - Congrès AFCET-INRIA (1984) Proceeding Tome I p. 141-150
- (5) J.D. FOLEY, A. VANDAM - Fundamentals for interactive computer graphics- Addison - Wesley (1982)
- (6) H. FUCHS, Z.M. KEDEM, S.P. USELTON
Optimal surface reconstruction from planar contours (1977) Communications of the ACM Vol. 20 n° 10 p. 693-702
- (7) S. GANAPATHY, T.G. DENNEHY - A new general triangulation method for planar contours (1982) computer graphics Vol. 16 n° 3 p. 69-75
- (8) B. GIBAUD -Etude et réalisation d'un système d'analyse d'informations radiologiques 3D tomométriques, stéréotaxiques et stéréoscopiques (1983) Thèse de doctorat d'ingénieur-Université de Rennes I
- (9) B. GIBAUD, J.M. SCARABIN, B. LORIG, C. CRUETTE -Accurate use of CT Scanner, stereotaxis and photogrammetry for diagnosis and treatment of cerebral lesions (tumors) (1982) International Archives of photogrammetry 14,5 p. 225-235
- (10) G.T. HERMAN, J.K. UDUPA -Display of 3D digital images - Computational foundations and medical applications (1983) proceedings IEEE Computer graphics and applications p. 39-45
- (11) F. HERMELINE - Triangulation automatique d'un polyèdre en dimension N (1982) RAIRO Analyse numérique Vol. 16 n° 3 P. 211-242
- (12) E. KEPPEL -Approximating complex surfaces by triangulation of contours lines (1975) IBM Journ. Res. Devel. n° 19 p. 2 - 11
- (13) P. LERAY - Conception d'un système de synthèse d'images tridimensionnelle animées pour la production télématique et audiovisuelle (1983) Revue de Radio-diffusion-Télévision n° 80 p. 4-7
- (14) W.M. NEWMAN, R.F. SPROULL - principes of interactive Computer graphics -2ème édition (1979). International student Edition.
- (15) J. O'ROURKE - Polyedra of minimum area as 3D object models (1981)- Proceedings of the International conference on artificial intelligence p. 664-666
- (16) E. PAUCHON -Numérisation et modélisation automatique d'objets 3D (1983) - Thèse de doctorat d'ingénieur-Université de Paris Sud Orsay
- (17) J. PECKER, J.M. SCARABIN, J.M. BRUCHER, B. VALLEE - Stereotactic approach to diagnosis and treatment of cerebral tumors (1979) -Editions Pierre Fabre 1 vol. 301 p.
- (18) D.F. ROGERS, J.A. ADAMS -Mathematical elements for computer graphics - Mac-Graw Hill Book Company (1976)
- (19) J.J. SANTINI -Atlas d'ostéologie du crâne- Masson Edit. ,1980, 1 vol. 129 p.
- (20) M. SHANTZ -Surface definition for branching contour defined objects(1981) Computer Graphics Vol. 15 n°2 p.242-270
- (21) P. SUETENS, P. JANSEN, A. HAEGEMANS, A. OOSTERLINCK, J. GYBELS- 3D reconstruction of the blood vessels of the brain from a stereoscopic pair of subtraction angiograms (1983)- Image and vision Computing Vol. n°1 p. 43-51
- (22) A. SUNGUROFF, D. GREENBERG -Computer generated images for medical applications (1978)-Computer graphics n° 12 p. 196-202
- (23) J.K. UDUPA -Interactive segmentation and boundary surface formation for 3D digital images- Computer graphics and image processing(1982) n°18 p. 213-235
- (24) J. VIGNAUD, P. RABISCHONG, J.P. YVER, P. PARO, C. THUREL- Multidirectional reconstruction of angiograms by stereogrammetry and computer (1979) -Neuro-radiology Vol. 18 p. 1-7