

1. Symposium on image processing synthesis and  
technology applications  
Biarritz (France) 23-25 May 1984  
CEA-CONF--7285

VOLUDENSITOMETRIE - VISUALISATION TRIDIMENSIONNELLE D'ORGANES  
VOLUDENSITOMETRY - THREE DIMENSIONAL DISPLAY OF MEDICAL OBJECTS

P. DARIER, Ph. GARDERET, P. GRANGEAT, P. MATTE,  
E. TOURNIER, R. VILLAFANA

CEA-CENG - LABORATOIRE D'ELCTRONIQUE ET DE TECHNOLOGIE DE L'INFORMATIQUE MCTE - 85 X 38041 GRENOBLE CEDEX

RESUME

Pour étudier la cartographie volumique de la densité de matière (imagerie par rayons X), de la densité protonique (imagerie RMN) ou de l'activité spécifique d'un traceur radioactif (imagerie  $\gamma$  ou  $\beta^+$ ) on reconstruit à partir de mesures sur des détecteurs un ensemble de résultats de calculs ou voxels repérables par un triplet de coordonnées d'espace et représentant une estimation locale du paramètre étudié.

Les concepts de représentation développés s'étendent d'ailleurs à tout paramètre pour lequel l'additivité a un sens.

L'opérateur doit piloter un logiciel d'analyse afin d'élaborer les documents lui permettant d'obtenir une représentation mentale de l'objet. Sur un écran de visualisation ces documents seront soit des graphiques, soit des images, soit des séquences d'images.

Le processus élémentaire d'élaboration d'une image comprend :

- le conditionnement du volume :
  - . définition d'un repère absolu (transformations géométriques)
  - . extraction interactive (chirurgie) ou automatique (segmentation) de sous-volumes
  - . mise en forme contextuelle (agencement des sous volumes, dissolution)
- la réduction à deux dimensions de l'information soit par intégration spatiale (radiographie), soit par représentation de surface (morphoscopie)

La communication présente ces différents concepts pouvant donner lieu au développement d'une console interactive de visualisation. Des séquences, enregistrées sur vidéo cassettes et réalisées à partir d'un logiciel expérimental, illustrent les premiers résultats obtenus.

SUMMARY

In order to study the volumic cartography of material density (X-rays imaging), of proton density (RMN imaging) or of specific activity of a marker ( $\gamma$  or  $\beta^+$  imaging) a set of calculation results (called voxels) is reconstructed from sensor data collection.

Voxels are identified by a triplet of space coordinates and they represent a local estimation of the parameter to be studied.

The concepts for representation there upon developed can be extended for any parameter for which additivity is meaningful.

The operator has to govern a software in order to work out the documents leading himself to a mental representation of the object. On a display these documents will be either graphics, images or image sequences.

The elementary process for elaboration of one image includes :

- conditioning the volume :
  - . definition of absolute coordinates (geometrical transformations)
  - . interactive extraction (surgery) or automatic extraction (segmentation) of sub-volumes
  - . contextual organization (sub-volumes ordering, dissolution)
- reduction to two dimensions of the information either by spatial integration (radiography), or by surface representation (morphoscopy)

This contribution introduces these different concepts showing the way to the design of an interactive display console.

Video recorded sequences that have been realised using an experimental software will illustrate the preliminary results.

## I - INTRODUCTION

Les capacités exceptionnelles du système de vision humain (oeil + cerveau) font des images un véhicule privilégié de communication homme-machine.

Ceci incite fortement à utiliser l'image comme outil de contrôle structurel ou fonctionnel d'organes ou de systèmes, tant dans les applications médicales qu'en contrôle industriel.

Le travail entrepris sur ce thème au LETI est étroitement associé aux études conduites en voludensitométrie [13] et de façon plus large à ses activités concernant les systèmes d'imagerie médicale et les automates de contrôle industriel utilisant la vision : radiographie et tomographie par rayons X, caméra à positons, imagerie ultra sonore, imagerie spectrométrique en RMN.

Parmi les techniques permettant la visualisation tridimensionnelle (holographie, stéréoscopie, visuels 3D), nous nous sommes orientés vers l'utilisation de systèmes classiques (mémoire, écran vidéo) comme terminal de visualisation.

Notre objectif dans une première phase a été la justification algorithmique et l'expérimentation sur quelques cas concrets de la méthodologie de base. Le projet doit s'étendre à la mise en oeuvre d'une interactivité réelle et doit déboucher sur la conception d'une console d'exploitation interactive applicable à de nombreuses situations de dépouillement de volumes numériques.

## II - PRESENTATION DU PROBLEME - HYPOTHESES DE TRAVAIL

Nous pré-supposons l'existence d'un système de production de données volumiques numérisées. Un tel système associe généralement un ensemble spécifique d'illumination et de détection, des éléments mécaniques gouvernant une trajectographie. Une structure informatique incluant des modules électroniques d'acquisition et de conditionnement des signaux, des processeurs de reformation permettent le calcul du volume reconstruit à partir des mesures.

Pour une seule exploration volumique, la quantité de données produites par un tel système peut aller de 2 Méga octets (volume  $128 \times 128 \times 128$ , données codées sur 8 bits) à 256 Méga octets (volume  $512 \times 512 \times 512$ , données codées sur 16 bits). Le stockage et la gestion de tels ensembles de données dans un système ou dans un réseau pose en soi des problèmes (compression de données, optimisation de temps d'accès, etc...) qui sortent du cadre du présent exposé.

Nous ne considérons dans la suite que le problème d'exploitation d'un seul de ces volumes ; à savoir l'ensemble des concepts puis des outils logiciels et matériels nécessaires pour gouverner une stratégie d'analyse des données.

Le noeud de cette méthodologie réside dans le passage de données volumes  $V(x,y,z)$  à un ensemble de données images  $I_i(u,v)$ , chacune de ces images étant une représentation possible de tout ou partie du volume initial ou de ses transformées.

Deux phases distinctes du traitement peuvent alors être identifiées :

- le conditionnement du volume qui met en oeuvre des algorithmes de transformations portant sur le positionnement et (ou) le contenu numérique des voxels. Il s'agit de transformations de volume numérique à volume numérique.
- le choix de représentation permettant le passage d'une information volume à une représentation image.

Une stratégie de dépouillement s'analysera alors comme le choix successif de séquences d'image soit sur des critères pré-déterminés tenant compte des spécificités de l'organe étudié, de protocoles d'examen ou d'informations à priori, soit par une heuristique interactive alternant représentations globales et locales de la scène acquise.

## III - CONDITIONNEMENT DU VOLUME

### 1. Transformations géométriques

On va regrouper sous ce vocable toutes les manipulations introduisant des changements de coordonnées d'espace. Il s'agit essentiellement de considérer que l'on est en présence d'un ou de plusieurs solides indéformables dont on peut faire varier la position par rapport à un repère absolu.

Dans la suite de l'exposé on utilisera pour l'exploitation un repère  $(u,v,p)$  lié à l'observateur : observateur à l'infini dans la direction  $p$ . Le plan  $(u,v)$  est supposé parallèle à l'écran de visualisation (Figure 1).

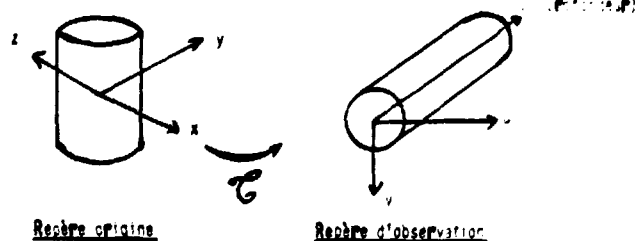


Fig. 1 Transformations géométriques

Les transformations géométriques pourront alors être définies comme l'ensemble des manipulations permettant de passer du repère de scène origine  $V(x,y,z)$  au repère d'observation  $R(u,v,p)$ . Ceci couvre essentiellement :

- . Translations
- . Rotations
- . Homothéties

Seule la rotation (gouvernée par 3 paramètres angulaires) pose un problème algorithmique particulier ; [10]. La parallélisation des calculs nécessaires à cette transformation est une des contraintes qu'il faut imposer à tout algorithme visant une exploitation en temps réel.

## 2. Segmentation

Par segmentation on comprend toute partition du volume initial en sous-volume. Cette notion recouvre celle de zone d'intérêt qui vise à limiter à priori les traitements aux seules données utiles, elle est aussi un outil d'analyse puissant permettant d'évaluer par un jeu itératif d'hypothèse-essai le poids relatif des composantes du volume.

### a) Segmentation spatiale

On désigne ainsi toute partition du volume sur des critères liés au repérage spatial des voxels. Il peut s'agir soit d'une partition paramétrée du volume en sous-éléments décrits géométriquement (sous cubes, parallélépipèdes, sphères, polyèdres, etc...) soit d'une partition désignée interactivement par l'utilisateur sur l'écran.

### b) Segmentation densitométrique

Dans ce cas la partition du volume s'effectue sur des critères liés à la valeur numérique associée au voxel (ou au voxel et à certains de ses voisins). Ceci s'intègre dans l'idée générale de différenciation de sous-volumes par leur texture. Cette segmentation peut s'accompagner de dissolutions de tissus ou de transsubstantiations simulées.

## IV - MODES DE REPRESENTATIONS

### 1. Représentations intégrées

Les concepts ci-dessous nécessitent que l'on puisse donner un sens physique à la somme de plusieurs voxels.

#### a) Radiographie

Ce mode de représentation conduit à une image intégrant dans la direction d'observation la totalité des informations volumiques. Ce n'est rien d'autre que le mode de représentation de la radiographie X standard ;

$$I(u,v) = \int_p R(u,v,p)$$

#### b) Radiographie pondérée

Elle sera définie par la relation :

$$I(u,v) = \int_p R(u,v,p) f(p)$$

où  $f(p)$  est une fonction de pondération variant avec la distance. Cette pondération peut permettre à la fois de privilégier l'information liée à un plan particulier ( $p = p_0$ ) tout en tenant compte de l'environnement nécessaire à l'interprétation (Figure 2.a).

Des séquences d'images peuvent aussi être obtenues en utilisant une famille de fonctions de pondération successives  $f_i(p)$  telle celle décrite dans la Figure 2.b (Travelling en profondeur).

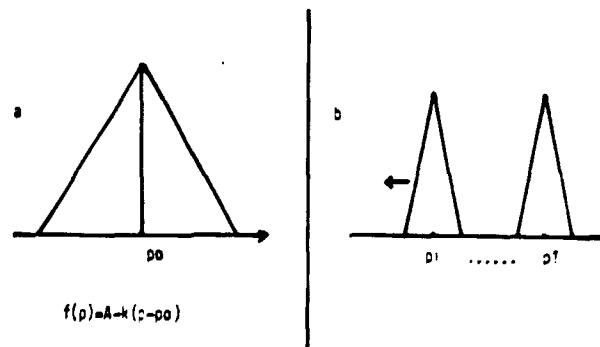


Fig. 2 Exemples de fonctions de pondération

#### c) Tomographie

Il s'agit en fait d'un cas particulier de la radiographie pondérée ; l'intégration est limitée idéalement à une épaisseur de coupe de largeur  $e$  ;  $e$  pouvant être variable (Figure 3).

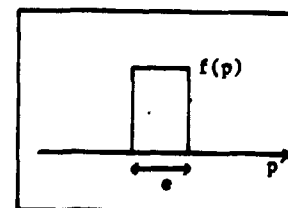


Fig. 3 Pondération liée à la Tomographie

La manipulation a posteriori de la valeur de  $\epsilon$  permet de passer de façon continue de la tomographie élémentaire (largeur de coupe égale au pas élémentaire de digitalisation du volume) à la radiographie (largeur de coupe supérieure ou égale à la totalité du volume analysé).

La photo n° 1 illustre ces modes de représentation intégrés.



PHOTO 1

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1 Radiographie<br>du coeur | 2 Coupe<br>tomographique<br>épaisse du coeur |
|----------------------------|--|

## 2. Représentations de surface - Morphoscopie

Lorsqu'un sous-volume a été identifié et segmenté, il peut être décrit par sa surface externe.

Les modes de représentation de cette surface peuvent mettre en évidence l'éclaircissement de l'objet, sa texture. Ce sont des techniques particulièrement utilisées en synthèse d'images.

Nous avons utilisé, pour notre part, un algorithme du type Buffer Z.

Le principe de cet algorithme consiste à représenter dans le repère observateur la surface par un tableau  $P(u,v)$  où  $P$  représente la profondeur du premier voxel rencontré dans la direction définie par  $(u,v)$  et parallèle à l'axe des  $z$ .

A ce tableau peut être éventuellement associé le tableau  $D(u,v)$  renseignant la densité de chaque point de la surface.

L'image présentée peut alors être soit  $P(u,v)$  soit une combinaison de  $P(u,v)$  et de  $D(u,v)$ .

La photo n° 2 illustre ces modes de représentation morphoscopiques.

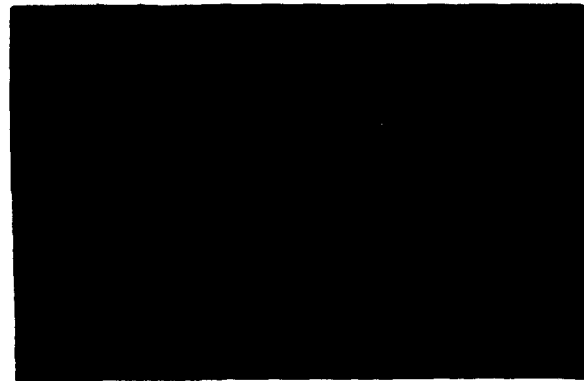


PHOTO 2

Morphoscopie du coeur

Vue de face Vue de dessus

## V - DESIGNATION DES SOUS-VOLUMES - CODAGE PAR ARBRE OCTAL

L'une des étapes importantes de préparation du volume consiste à segmenter les données initiales en sous-volumes caractéristiques.

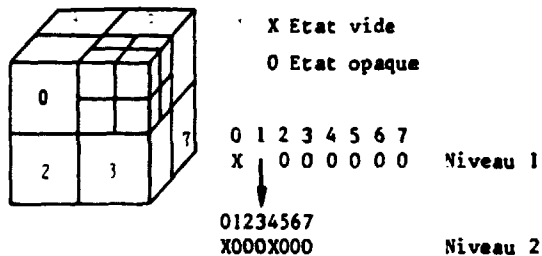
La relation liant tout voxel à un sous-volume quelconque  $v$  est une relation d'appartenance mathématiquement explicitée par une fonction indicatrice  $\phi_v(i,j,k)$

telles que  $\phi_v(i,j,k) = 1$  indique que le voxel aux coordonnées  $i,j,k$  appartient au sous-volume  $v$  (voxel dit à l'état "occupé")

$\phi_v(i,j,k) = 0$  indique que le voxel aux coordonnées  $i,j,k$  n'appartient pas au sous-volume  $v$  (voxel dit à l'état "vide")

La technique utilisée est de nature dichotomique. Elle consiste à diviser par son milieu chaque arête du cube initial de données pour obtenir  $2^3$  sous-volumes. Ces sous-volumes font eux-mêmes l'objet de subdivisions jusqu'à obtenir des volumes élémentaires dont tous les voxels sont dans le même état (vide ou opaque).

Si N est la taille de l'arête du cube primaire le nombre de niveaux possibles est  $\log_2 N$ .  
Un exemple de codage est donné dans la figure 4.



Codage de la liste de conditionnement

$$L = \{0, 10, 14\}$$

Fig. 4 Exemple de segmentation spatiale avec codage par arbre octal

Ce codage par arbre octal est utilisé pour conditionner le traitement lors de la segmentation des sous-volumes. Il permet dans le cas de segmentations itératives des opérations ensemblistes sur les listes associées.

Les photos 3 et 4 illustrent la manipulation de sous-volumes définis interactivement.

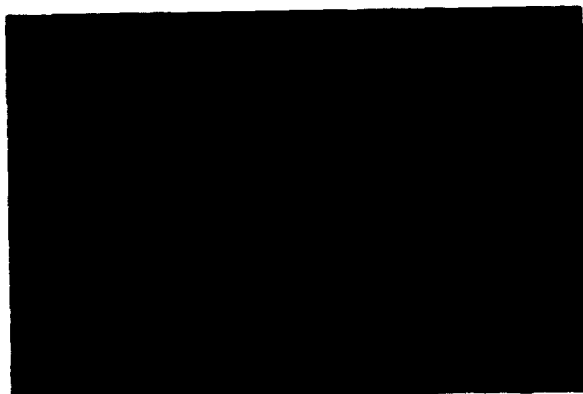


PHOTO 3

Morphoscopie de l'écorché du cœur

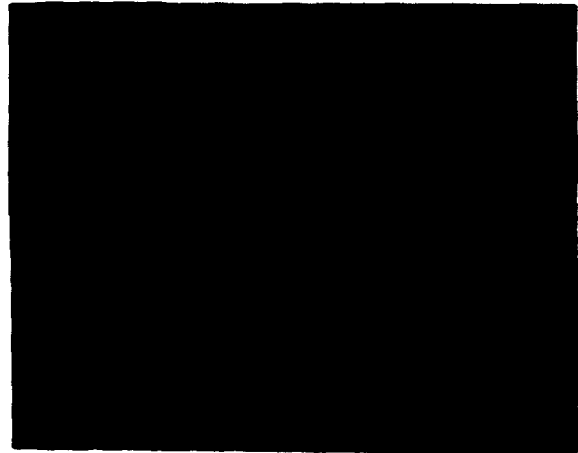


PHOTO 4

Chirurgie assistée par ordinateur

#### VI - INTERACTIVITE ET PERFORMANCES TEMPORELLES NECESSAIRES

Le concept même de stratégie d'analyse impose le développement d'une forte interactivité entre l'opérateur et l'espace de représentation qui lui est proposé.

Les manipulations géométriques doivent être contrôlées en temps réel par exemple au moyen d'une "chaîne-souris" [6] (extension naturelle à l'espace du concept maintenant familier de souris dans le plan) ce qui impose un temps de réponse impossible à atteindre sans l'aide de processeurs spécialisés.

#### VII - LOGICIEL EXPERIMENTAL ET PRESENTATION DE RESULTATS

Un ensemble de logiciels destinés à valider les méthodes de représentation proposées a été développé au LETI utilisant :

- pour la partie algorithmique un calculateur VAX 11/780 (3 Méga octets de mémoire centrale, 128 + 256 Méga octets de capacité disque, sous système d'exploitation VMS)
- pour la partie visualisation un système RAMTEK 9400 comportant une mémoire image 640 x 512 composée de 12 plans mémoire (palette de 2048 couleurs possibles), une intelligence locale basée sur un microprocesseur Z 80 et comme moyen d'interactivité un track-ball et une tablette à digitaliser.

Les programmes sont pour l'essentiel écrits en langage PASCAL.

VOLUDENSITOMETRIE - VISUALISATION TRIDIMENSIONNELLE D'ORGANES  
VOLUDENSITOMETRY - THREE DIMENSIONAL DISPLAY OF MEDICAL OBJECTS

P. DARIER, Ph. GARDERET, P. GRANGEAT, P. MATTE, E. TOURNIER, R. VILLAFANA

Une série d'acquisitions tomodensitométriques ont été réalisées avec la collaboration de M. le Docteur LE BAS du C.H.U. de Grenoble sur des pièces anatomiques.

Les performances actuelles du logiciel d'évaluation ont conduit à limiter la taille des volumes analysés à 128 x 128 x 128, ce qui, compte tenu de la dimension des organes visualisés, définit une taille de voxel élémentaire  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 2$  mm.

Le logiciel développé permet :

- les manipulations géométriques
- les segmentations densitométriques
- les segmentations spatiales (utilisant la tablette graphique)
- les représentations intégrées (radiographie, radiographies pondérées, tomographies à épaisseur de coupes variables)
- les représentations morphoscopiques (type buffer Z)

Les organes utilisés sont :

- un coeur
- un pied (en se limitant aux articulations au niveau du talon)
- un genou
- une boîte crânienne (immergée dans de l'eau)

Des illustrations de résultats de dépouillement obtenus sur ces acquisitions ont été rassemblées dans un montage vidéo qui sera présenté en séance.

#### VIII - CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude décrite ci-dessus et les premiers résultats d'exploitation obtenus ont permis de valider l'intérêt des stratégies de représentation proposées.

Toutefois il apparaît nécessaire de porter maintenant une attention particulière aux modalités de commande et de contrôle des procédures mises en jeu. Le contrôle interactif du paramétrage des algorithmes est rendu difficile par l'inacoutumance des opérateurs à certaines représentations spatiales proposées.

La multiplicité des manipulations possibles est une incitation supplémentaire au contrôle permanent de l'état de la représentation par rapport aux données brutes, rigueur sans laquelle l'exploitation risque fort de perdre toute nature quantitative au profit d'une satisfaction esthétique immédiate mais peu opératoire.

L'optimisation de ce dialogue homme-machine ne pourra vraiment s'envisager qu'en intégrant son aspect temps réel, ce qui implique dans le déroulement du projet le franchissement d'une importante étape de développement matériel.

#### IX - BIBLIOGRAPHIE

- [1] P. Alexander  
"Array processors in Medical Imaging"  
I.E.E.E. Computer Juin 1983 n° 17-18
- [2] J.L. Amans  
"Les processeurs vectoriels en traitement numérique des signaux et des images, étude et réalisation d'un processeur programmable rapide travaillant en arithmétique flottante"  
Thèse de Docteur Ingénieur - Institut National Polytechnique de Grenoble Novembre 1982
- [3] Philippe Boule  
"Etude et réalisation d'algorithmes pour la visualisation de scènes composées de facettes planes"  
Thèse de Docteur Ingénieur - Institut National Polytechnique de Grenoble - Septembre 1980
- [4] Louis Doctor - John Torborg  
"Display technique for OCTREE encoded objects"  
I.E.E.E. Computer Graphics and applications  
Juillet 1981 : 29-38
- [5] E. Fanch  
"Color display and interactive interpretation of three-dimensional data"  
IBM Journal of Research and Development  
Juillet 1983 p 356-366
- [6] B. Escudé  
Oeuvres complètes - ICPI Lyon
- [7] Gabor Herman  
"Surface of organs in Discrete Three dimensional space"  
Mathematical aspect of computerized tomography  
Proceeding Oberwolfach 1980 p 204-224
- [8] G. Herman, D.M. Kramer, P. Lanterbur, A. Rubin, J. Schneider, J. Udupa  
"Three dimensional display of medical objects"  
Medical image processing group technical report n° MIP 653 Mars 1981
- [9] F. Martinez  
"Vers une approche systématique de la synthèse d'images - aspect logiciel et matériel"  
Thèse d'Etat es Sciences  
Institut National Polytechnique de Grenoble 1982
- [10] N. Newman - R. Sproull  
"Three dimensional transformation and perspective" Principles of interactive computer graphics  
Mc Grawhill 1979
- [11] Ricardo Villafana-Pino  
"Méthodes de représentation pour la visualisation de volumes numériques" Thèse de Dr. Ingénieur  
Institut National Polytechnique de Grenoble  
Déc. 1983
- [12] Carl Weiman  
"Continuous Anti-aliased rotation and zoom of Raster images" Computer graphics 1980 p 286-293
- [13] P. Grangeat  
Voludensitométrie : "Etude méthodologique du problème de trajectographie."  
Colloque image GRETSI/BIARRITZ 1984