

## Traitement, Synthèse, Technologie et Applications

BIARRITZ - Mai 1984 -

## METHODES DE VISUALISATION LIEES A UNE BASE DE DONNEES D'OBJETS

Display methods related to an object data base

Francis SCHMITT

Laboratoire Image - ENST - 46 rue Barrault 75634 PARIS CEDEX 13

**RESUME**

Le laboratoire Image de l'ENST a développé un système automatique pour la numérisation de la surface d'objet tridimensionnel permettant de constituer très rapidement une base de données d'objets. Les problèmes présentés ici sont ceux du développement :

- d'outils de visualisation permettant de contrôler immédiatement la qualité de la numérisation de la forme d'un objet au moment de son acquisition par le système.
- de méthodes de visualisation permettant d'explorer rapidement le contenu de la base de données par des techniques graphiques ou de synthèse d'image

Dans le premier cas, on cherche à fournir une aide visuelle informative. Elle doit être rapide, précise et permettre à l'opérateur de corriger interactivement les paramètres géométriques, mécaniques et électroniques qui définissent le système au moment de l'acquisition de la forme, afin d'optimiser l'information du signal numérisé.

Dans le second cas, on cherche à restituer le plus fidèlement possible, l'objet en perspective observé selon un point de vue donné et sous un éclairage particulier. C'est la représentation de l'objet qui importe et non plus l'information qui le constitue. La structure particulière des données, avec laquelle sont stockés les objets permet de développer des algorithmes efficaces de reconstruction. Des dessins graphiques et des images synthétiques sont ainsi obtenues avec traitement des surfaces cachées.

Les diverses solutions apportées aux deux types de problèmes sont indiquées et illustrées.

**SUMMARY**

The Image laboratory of ENST has developed an automatic system for the digitalization of the surface of three-dimensional objects allowing the rapid development of an object data base. We present here the development of:

- Visual tools allowing the immediate control of the quality of the digitalization of the form of an object as soon as it is acquired by the system
- Visualization methods allowing the rapid exploration of the contents of data base by graphic techniques or image synthesis.

In the first instance we have to supply an informative visual aid which must be rapid, precise and allow the operator to interactively correct the mechanical, electronic and geometric parameters which define the system at the moment the form is acquired, with the aim of optimising the information of the digitalized signal.

Secondly we have to reconstruct, as faithfully as possible, the object in perspective seen from any view point and with a given lighting. The important factor is the representation of the object and not the intrinsic information. The particular structure of the data by which the objects are stored allows the development of efficient algorithms of reconstruction. Graphic drawings and synthesized images are obtained with the elimination of hidden surfaces.

Various solutions applied to the two types of developments are here given and illustrated.



## 1. INTRODUCTION

Le laboratoire Image de l'ENST a développé un système automatique pour la numérisation de la surface d'objet tridimensionnel permettant de constituer très rapidement une base de données d'objets /1 à 7/.

Nous présentons ici les méthodes de visualisation associées à cette base de données. Elles se décomposent en deux groupes distincts selon leurs applications:

- Les outils graphiques permettant de contrôler le plus interactivement possible la qualité de la numérisation des formes au moment de leur acquisition par le système.

- Les méthodes de visualisation en perspective des objets permettant d'explorer rapidement le contenu de la base de données par des techniques graphiques ou de synthèse d'image.

Ces méthodes exploitent la structure image avec laquelle est stockée l'information dans la base de données d'objets.

Nous présentons dans la deuxième partie les diverses étapes pour la constitution de la base de données d'objets. Les outils graphiques pour l'acquisition sont exposés dans la troisième partie et les méthodes de visualisation des objets dans la quatrième partie. A la conclusion, nous évoquons de nouveaux développements en cours.

## 2. CONSTITUTION DE LA BASE DE DONNEES D'OBJETS

Elle se décompose en trois étapes: l'acquisition du signal, son traitement et le stockage de l'information dans la base de donnée.

### 2-1. Acquisition du signal

Le principe de l'acquisition du signal est présenté sur la Figure 1. L'objet à numériser est placé sur un plateau rotatif mû par un moteur pas à pas. Il est éclairé par un faisceau plan laser et observé par une caméra video avec une parallaxe d'angle  $\theta$  donnée. La positions  $t$  et la largeur de la trace lumineuse sur chacune des lignes video  $n$  sont numérisées et stockées pour chaque position angulaire  $w$  du plateau. Un processeur contrôle l'ensemble du système, 200 000 points pouvant être ainsi mesurés en une minute environ.

Il est possible d'éclairer l'objet simultanément par plusieurs lasers situés à divers angles  $\theta$ . Cela permet d'éliminer certaines parties cachées se produisant lorsqu'un obstacle (protubérance ou trou) empêche la caméra d'observer les points

éclairés par le faisceau laser. Pour certaines applications, le plateau en rotation peut aussi être remplacé par un plateau en translation.

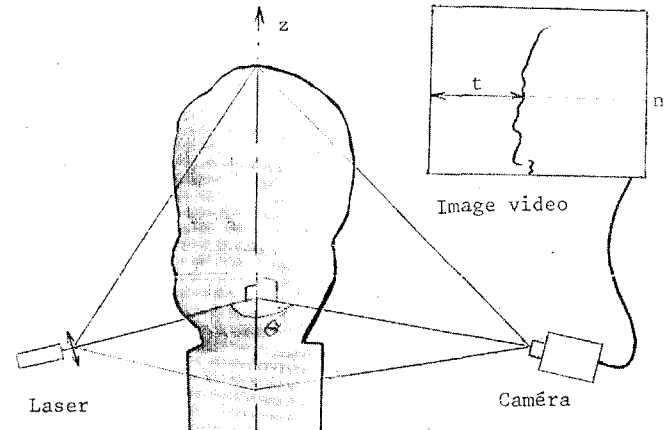
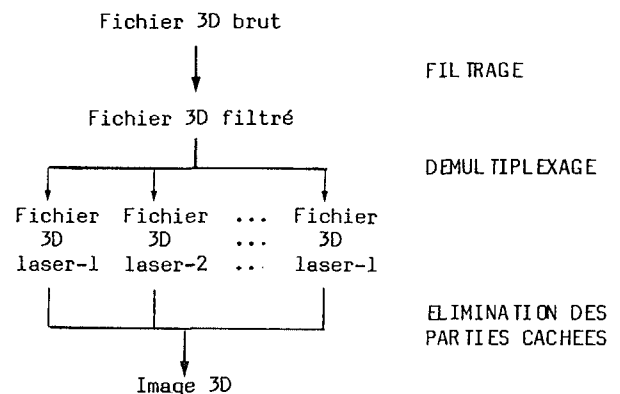


Figure 1

### 2-2. Traitement du signal numérisé

Le fichier des données brutes acquises à l'étape précédente peut contenir des valeurs  $t$  erronées dues au bruit.

Il est donc nécessaire de traiter ce fichier "3D brut" et d'en extraire l'information tridimensionnelle utile. Ce traitement s'effectue selon le schéma suivant:



\* Le filtrage est assuré en deux étapes: un filtrage logique qui établit des règles de connexité prenant en compte la cohérence spatiale du signal et un filtrage analytique qui respecte les hautes fréquences du signal /6/.

\* Le démultiplexage permet de séparer l'information  $t$  lié à chaque laser. Il est similaire à un suivi de contour en traitement d'image et s'appuie sur les règles de connexité

établies à l'étape précédente.

\* L'élimination des parties cachées se fait en mettant en correspondance les différents "fichiers 3D laser". La réunion et l'intégration de leur information permet de construire un fichier unique, véritable "Image 3D" de l'objet, directement intégrable à la base de données.

Les deux dernières étapes sont actuellement en cours de développement. La première suffit dans le cas d'une acquisition avec un seul laser.

### 2-3. Stockage dans la base de donnée

La structure du fichier "Image 3D" résultant des traitements précédents est la suivante:

\* Un bloc contient toute l'information relative à une position angulaire  $w$  donnée de l'objet sur le plateau en rotation. Nous l'appellerons méridien.

\* Chaque bloc est d'une longueur fixe de  $N$  mots contenant l'information  $t$  des  $N$  lignes de télévision.

La configuration géométrique du système étant déterminée, la position dans l'espace d'un point de l'objet éclairé par le laser est entièrement définie par les données suivantes:

- la valeur de la mesure  $t$ , correspondante,
- le numéro  $n$  de la ligne de télévision, c'est-à-dire de la position du mot contenant  $t$  dans le bloc,
- la position  $w$  du plateau, linéairement liée au numéro du bloc.

Pour certaines applications et notamment pour l'élimination des parties cachées, il peut être nécessaire de rééchantillonner le signal selon l'axe des  $z$ . Dans ce cas l'ordonnée  $z$  sera linéairement reliée à la position du point dans le bloc, et la valeur  $r$  calculée pourra être substituée à la mesure  $t$ .

L'information de surface est ainsi codée directement dans la structure de type image du fichier stockée, puisque les indices de ligne (bloc) et de colonnes  $y$  contribuent directement. Cette structure va nous être très utile pour les algorithmes de visualisation. Elle offre le grand avantage de rendre compatible nos données avec les systèmes de traitement et de stockage d'images.

### 3. LES OUTILS GRAPHIQUES POUR L'ACQUISITION

Au moment de l'acquisition, il est nécessaire de pouvoir contrôler rapidement la qualité de la numérisation de la forme des objets. Des outils de visualisation peuvent fournir pour cela une aide visuelle informative très utile. Pour être efficaces, ils doivent permettre à l'opérateur de corriger interactivement les paramètres géométriques, mécaniques et électroniques qui définissent le système au moment de la saisie, afin d'optimiser l'information du signal numérisé. Un des buts principaux est de déterminer

expérimentalement dans une phase d'étalonnage les transformations géométriques qui seront à effectuer sur le signal.

### 3-1. Détermination des transformations géométriques

L'ensemble des paramètres géométriques du système est à prendre en compte. Leur influence sur la précision des coordonnées  $(x, y, z)$  des points mesurés a été étudié dans /6, 7/. Le calcul de ces coordonnées est considérablement simplifié si on respecte les conditions géométriques particulières suivantes:

- plan du laser passant par l'axe de rotation  $z$ ,
  - axe de rotation perpendiculaire à l'axe de visée de la caméra et dans un plan vertical (l'image de l'axe est situé à une valeur  $t_0$  constante sur les lignes video),
- et si l'on admet que la caméra et l'électronique n'introduisent pas d'aberrations indésirables.

Si les conditions précédentes sont respectées, les transformations permettant d'obtenir les coordonnées cylindriques  $(z, r, w)$  dans le repère lié à l'objet sont les suivantes:

\*  $w$  est directement donné par la position du moteur pas à pas.

\* Les coordonnées  $z$  et  $r$  se calculent à partir de la différence  $Dt = t - t_0$ , du nombre  $N$  total de lignes video, et du numéro  $n$  de la ligne courante. Les transformations sont les suivantes:

$$r = a * Dt / (Dt + b) \quad (1)$$

$$z = c * (N/2 - n) * (1 - (Dt / (Dt + b))) \quad (2)$$

où  $a$ ,  $b$  et  $c$  sont des constantes dépendant de la géométrie du système. L'origine de l'axe de  $z$  est choisie arbitrairement à l'intersection avec la ligne  $N/2$ . Les constantes  $a$ ,  $b$  et  $c$  peuvent être calculées si la géométrie est entièrement déterminée /6/. Mais il est beaucoup plus simple d'estimer directement ces coefficients au cours d'une phase d'étalonnage en numérisant des formes calibrées comme un cône ou un empilement de cylindres coaxiaux de différents diamètres. La mesure des  $t$  et la connaissance des  $r$  correspondants permet de déterminer  $a$  et  $b$  en résolvant par le critère de moindres carrés le système d'équations linéaires (1). La détermination de  $c$  s'obtient en résolvant le système linéaire (3) suivant dérivé du système (2):

$$h - d = c * (N/2 - n) * (1 - Dt / (Dt + b)) \quad (3)$$

où  $h$  est la hauteur connue de points caractéristiques de l'objet calibré et  $d$  une constante correspondant à la hauteur sur l'objet de l'origine de l'axe des  $z$  fixée arbitrairement à la ligne  $N/2$ . La connaissance de  $b$  et des couples  $(h, t)$  permet de déterminer les inconnues  $d$  et  $c$ .

Il est fréquent d'être dans des conditions géométriques où  $b \gg Dt$ . Il suffit pour cela que la distance de la caméra à l'objet mesuré soit grande par rapport à la taille de cet objet. Les formules s'approximent alors par:



$$r = (a/b) * Dt$$

$$z = c * (N/2 - n)$$

Ces formules réduites sont souvent suffisantes pour visualiser en perspective le contenu d'un fichier de la base de données, l'oeil étant très tolérant à de légères anamorphoses.

Si les formules complètes sont utilisées, il est conseillé d'effectuer au préalable le calcul de r dans une table de transcodage pour les diverses valeurs quantifiées de t.

### 3-2. Les aides graphiques

Une aide graphique apparaît particulièrement utile lors du réglage du système d'analyse. Elle doit permettre à l'opérateur de rechercher interactivement les conditions géométriques particulières citées précédemment et pour lesquelles se simplifie le calcul des coordonnées r et z. Elle doit aussi permettre de régler plus facilement des paramètres associés aux conditions d'éclairage et à l'électronique. L'implémentation d'une telle aide est en cours de réalisation.

La visualisation graphique des résultats des différentes phases du traitement du signal joue aussi un rôle précieux pour le contrôle de la qualité de la numérisation. Elle prend des formes très diverses :

- \* visualisation de résultats d'analyse statistique sur le signal,

- \* représentation des données brutes ou filtrées, méridien par méridien, sous la forme  $t = f(n)$ , n étant placé en ordonnée et t en abscisse pour se rapprocher de la représentation cylindrique. En superposant les méridiens avec un décalage régulier en abscisse on obtient une première représentation de l'objet comme celle de la Figure 2.



Figure 2

- \* le fichier Image 3D visualisé comme une image. L'intensité d'un point est alors proportionnelle à t. Après transposition de l'image, une colonne représente un méridien et une ligne représente un pseudo-parallèle ou un vrai parallèle de l'objet selon qu'elle correspond à une ligne video donnée n ou, après rééchantillonnage, à un z fixe (cf. 2.1). Cette image constitue une sorte de développée cylindrique de l'objet, illustrée à la Figure 3a. Sa représentation en fausse couleur sur une mémoire d'image met en évidence les zones d'isodistance à l'axe de rotation (Figure 3b). L'image 3c représente non plus l'information t, mais la largeur de la tache du faisceau laser qui est une des données stockées dans le fichier "3D brut".



Figure 3a



Figure 3b



Figure 3c

La partie sombre sur ces images à la gauche immédiate du nez est une partie cachée où aucune mesure t n'a été obtenue, l'extrémité du nez masquant à la caméra la partie éclairée par le laser. On remédie à cela en déplaçant la caméra ou en rajoutant un autre faisceau laser. La grande zone sombre à l'arrière du crâne correspond à une brisure du buste en plâtre.



## 4. METHODE DE VISUALISATION DES OBJETS

4-1. Sans traitement des surfaces cachées

Ce type de représentation est immédiat, l'information  $(n, t, w)$  étant convertie en  $(z, r, w)$  selon les transformations (1) et (2), puis en  $(X_e, Y_e)$  les coordonnées écran selon les lois de la perspective /8/.

Les paramètres d'observation (position d'observation, axe de visée, champ visuel) sont fixés interactivement. La structure en méridien et parallèle du fichier des données permet aussi de choisir interactivement:

- la résolution du dessin à tracer (par exemple: un méridien et un parallèle sur 3),
- les bandes  $(w1, \dots, w2)$  des méridiens et  $(n1, \dots, n2)$  ou  $(z1, \dots, z2)$  des parallèles à visualiser.

Cette possibilité permet déjà d'éliminer partiellement les surfaces cachées.

Si on dispose d'un terminal offrant la possibilité de représenter des niveaux de gris comme une mémoire d'image, il est possible d'accentuer à peu de frais l'illusion du relief. Il faut se donner une formule d'ombrage tenant compte des positions relatives de l'observateur et des sources lumineuses, d'un modèle de réflectance de la surface de l'objet /9/. Ce modèle fait intervenir la normale en chaque point  $(z, r, w)$  de l'objet. Elle s'estime automatiquement en appliquant sur l'image des données un opérateur local centré autour du point image de coordonnées  $(n, w)$  ou  $(z, w)$ .

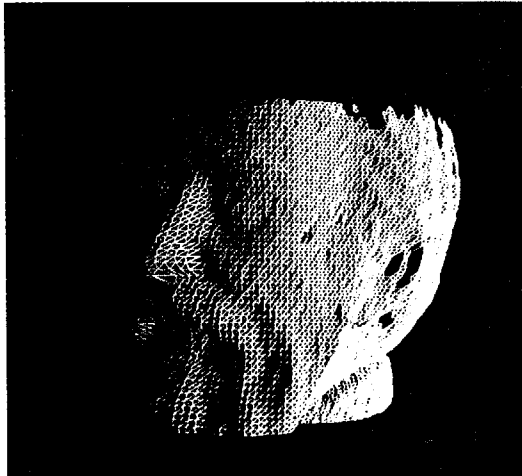


Figure 4

Un premier résultat est présenté à la Figure 4. Les Figures 5a, 5b, 5c montrent l'image obtenue pour 3 résolutions différentes: un méridien et un parallèle sur 12, 6 et 3 respectivement y sont visualisés. La bande des méridiens opposés à l'observateur n'a pas été tracée ce qui permet une ébauche efficace de l'élimination des surfaces cachées.

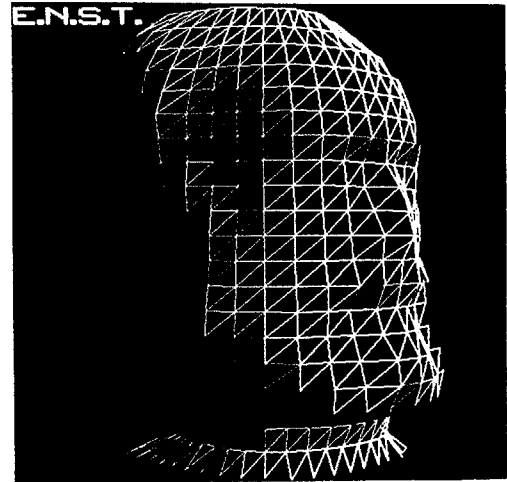


Figure 5a

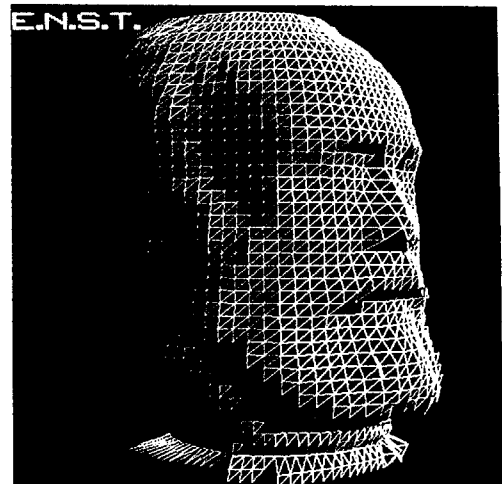


Figure 5b

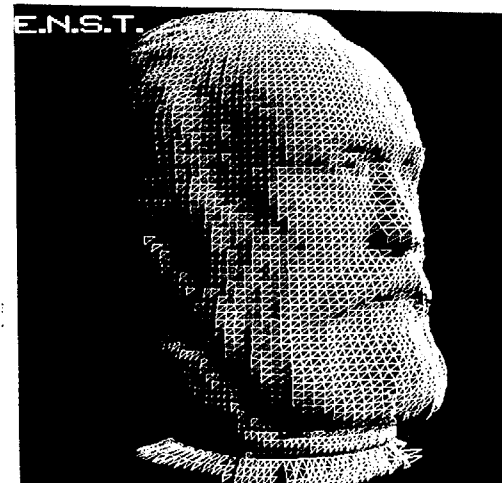


Figure 5c



#### 4-2. Avec traitement des surfaces cachées

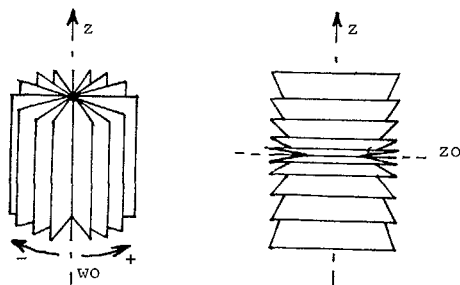
Si le calculateur dispose d'une mémoire virtuelle ou s'il est relié à une mémoire d'image, le traitement des surfaces cachées est alors particulièrement simple. En effet il va suffir d'afficher les éléments de la surface de l'objet par ordre de priorité croissante. Les surfaces cachées seront automatiquement éliminées avec leur recouvrement par des surfaces plus prioritaires, c'est-à-dire plus proches de l'observateur, leurs points étant progressivement écrasés dans la mémoire d'image.

Cet ordre de priorité s'établit directement à partir de la structure des données en méridiens et parallèles. Soit  $(z_0, r_0, w_0)$  les coordonnées de l'observateur dans le repère objet :

\* Une première relation d'ordre existe sur les demi-plans contenant les méridiens (cf. Figure 6a). Le méridien le plus prioritaire est celui situé dans le demi-plan d'angle  $w_0$  passant par l'observateur. Les méridiens situés entre  $w_0$  et  $w_0 - 180^\circ$  sont alors entièrement ordonnés. Ils sont d'autant moins prioritaires que leur angle  $w$  s'écarte de  $w_0$ . Il en est de même pour les méridiens situés entre  $w_0$  et  $w_0 + 180^\circ$ . Ces deux sous-ensembles n'interagissent pas dans la perspective. Ils peuvent donc être traités séparément.

\* Une deuxième relation d'ordre similaire existe sur les parallèles à  $z$  constant. Considérons le plan  $z = z_0$  passant par l'observateur et parallèle aux plans des parallèles de l'objet (cf. Figure 6b). Ceux-ci sont alors d'autant moins prioritaires que leur ordonnée  $z$  s'écarte de  $z_0$ . Ils n'interagissent pas non plus entre eux dans la projection lorsqu'ils sont de part et d'autre du plan  $z_0$ .

L'observateur étant défini, il suffit donc de déterminer ses deux coordonnées  $z_0$  et  $w_0$  dans le repère objet, et d'afficher les éléments de surface en respectant simultanément les deux relations d'ordre vérifiées par les méridiens et les parallèles. Dans le cas particulier où l'observateur est situé sur l'axe des  $z$ , seul l'ordre de priorité sur les parallèles intervient.



(a)

(b)

Figure 6

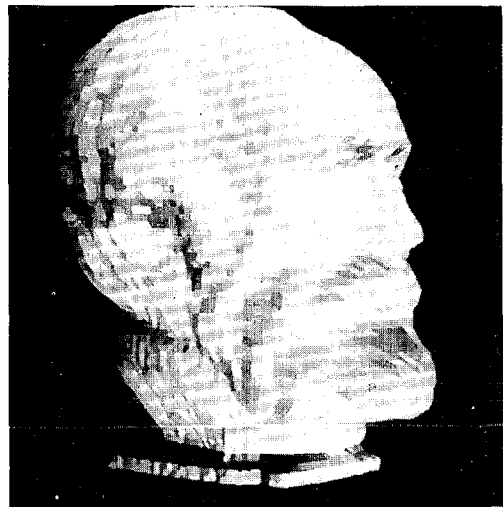


Figure 7a

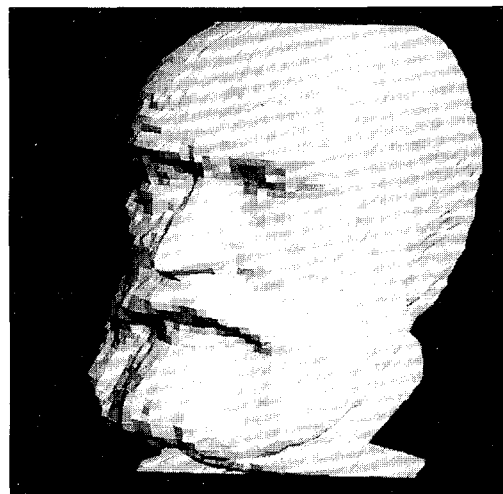


Figure 7b

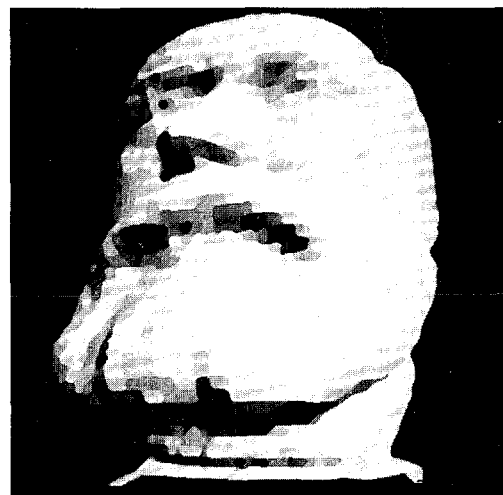


Figure 7c

Nous présentons aux Figures 7a, 7b, 7c et 8 des résultats obtenus avec ce traitement des surfaces cachées. Ces diverses perspectives ont été obtenues avec une résolution de  $1/3$  sur les méridiens (pas

de 3°) et les parallèles. Les éléments de surfaces utilisés sont les triangles dont deux des cotés s'appuient sur le réseau des méridiens et parallèles. Ces premiers résultats devraient être prochainement améliorés par une augmentation de la résolution et une mise en oeuvre de techniques de lissage. A la Figure 8 le visage a été incrusté sur un texte en utilisant encore une fois les facilités offertes par les système de traitement d'images.

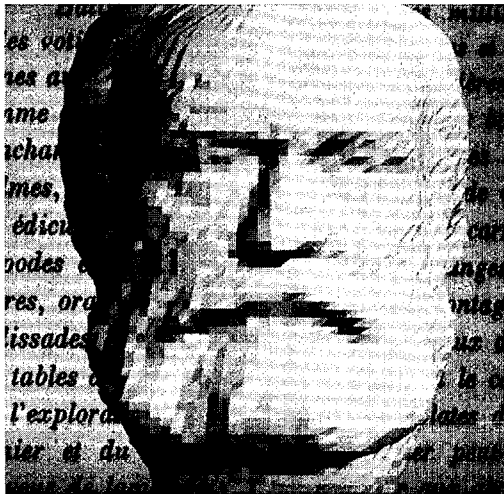


Figure 8

## 5. CONCLUSION

Le système automatique de numérisation de la surface d'un objet, développé par le laboratoire Image de l'ENSI, permet de constituer très rapidement une base de données d'objets. L'information tridimensionnelle est stockée dans un fichier dont la structure est celle d'une image. Nous avons montré quels étaient les nombreux avantages d'une telle représentation: compatibilité avec les systèmes de traitement d'image, transformations géométriques simples, information dense et structurée, élimination aisée des surfaces cachées, ...

Associés à cette base de données d'objets, deux types de procédés de visualisation ont été développés:

- des outils graphiques interactifs pour aider au contrôle des diverses étapes de la constitution de la base de données,
- des reconstructions en perspective permettant d'explorer rapidement le contenu de la base de données.

Nous développons actuellement des algorithmes de facétisation et de recouvrement par "patches" de l'objet afin d'assurer l'interface entre la base de données et les utilisateurs d'algorithmes de synthèse spécifiques.

Je remercie enfin Alain Clainchard de son aide efficace pour l'obtention des derniers résultats.

## REFERENCES

- /1/ H. MAITRE, "Traitement des images ou traitement des formes? Bases de données d'images et bases de données de formes", INFODIAL, Paris, Mai 1983, pp. 70-76.
- /2/ Journées d'Etudes SEE, "Nouvelles Images Electroniques", Rennes, Oct. 83, Session Bases de Données
- /3/ H. MAITRE, A. CLAINCHARD, F. SCHMITT, J. LOPEZ-KRAHE, "Appareil automatique pour la numérisation d'une surface tridimensionnelle, BREVET n°81-24418, 1981.
- /4/ S. LELANDAIS A CLAINCHARD, J. LOPEZ KRAHE H. MAITRE F SCHMITT "Numérisation de formes tridimensionnelles: acquisition, traitement" 4ème Congrès de Reconnaissance de Formes et Intelligence Artificielle, AFCET, Paris 25-27 Janvier 1984, pp. 339-356.
- /5/ S. LELANDAIS, A. CLAINCHARD, "Système d'acquisition de formes tridimensionnelles", Congrès MICAD 84, Paris 28 Février - 2 mars 1984
- /6/ S. LELANDAIS, H. MAITRE, "Analyse et Traitement de données tridimensionnelles", Premier Colloque Image - GRETSI-CESTA, Biarritz, Mai 1984
- /7/ S. LELANDAIS, "Réalisation et première exploitation d'un système de numérisation de formes tridimensionnelles", Thèse de troisième cycle, Université de Technologie de Compiègne, Avril 1984, A paraître.
- /8/ P. MORVAN, M. LUCAS, "Images et Ordinateur", Larousse, 1976.
- /9/ J.D. FOLEY, A. VAN DAM, "Fundamentals of Interactive Computer Graphics", Addison-Wesley, 1982