

CONCEPTION ET REALISATION D'UNE STATION DE PHOTO-
GRAMMETRIE ADAPTEE A L'ETUDE DE LA MORPHOLOGIE DU
CORPS HUMAIN

A. COBLENTZ, R. MOLLARD
Anthropologie Appliquée et Ecologie Humaine - Paris V
France
G. LOOPUYT - E.T.C.A. - Arcueil, France
M. BLAUSTEIN - S.E.T.P. - Salon de Provence, France

Commission V

1 - INTRODUCTION -

La connaissance de la variabilité des formes et des dimensions corporelles sur le vivant nécessite la mise en oeuvre de moyens d'acquisition biostéréométrique performants, et la photogrammétrie demeure actuellement l'un des plus adaptés (A.COBLENTZ, 1978 ; R. HERRON, 1972, 1982).

Pour permettre la détermination de dimensions, surfaces et volumes corporels, sur des sujets en position debout ou assis, nous avons conçu et réalisé une station de mesure biostéréométrique par photogrammétrie répondant aux impératifs suivants : mobilité de l'installation de saisie, unicité de la prise de vues, précision de l'ordre d'un millimètre pour des points marqués ou non sur l'ensemble du volume de mesure, temps réduit d'immobilisation du sujet. Nous avons retenu un dispositif comprenant une paire de chambres métriques, placées sur une base verticale, deux miroirs verticaux, un ensemble d'éclairage et des moyens d'étalonnage ; les clichés étant ensuite traités sur un stéréorestituteur analytique.

La validité de la méthode a pu être démontrée d'un point de vue métrologique et anthropométrique. Une étude morphologique d'un échantillon de cinquante jeunes adultes français a été effectuée et la variabilité des surfaces et volumes corporels, globaux et segmentaires, a été évaluée sur un groupe de sujets de morphologies très différentes.

2 - MISE EN PLACE DE L'INSTALLATION DE MESURE -

Nous exposons ici la démarche qui nous a permis d'aboutir à la réalisation d'une installation opérationnelle.

2.1 - Justification des miroirs -

L'examen des photographies de différents sujets a rapidement révélé l'insuffisance d'une solution consistant à utiliser deux couples stéréoscopiques (face et dos) pour une restitution anatomique complète du corps humain.

En revanche, trois couples à 120 degrés permettent une description beaucoup plus riche en ce qui concerne les points anatomiques et facilitent grandement la numérisation des profils, en évitant la restitution de surfaces fuyantes.

Il fallait cependant tenir compte notamment des contraintes suivantes :

- la cohérence des résultats ne pouvait être assurée que par des prises de vues simultanées ou presque, et il ne pouvait donc pas être envisagé de faire tourner le sujet devant une paire de chambres,
- le niveau de précision recherché (+ 1 mm), ainsi que la nécessité d'utiliser un stéréorestituteur équipé des programmes classiques (orientation relative par la méthode de l'équation de coplanéité) sans avoir recours à une solution d'auto-étalonnage (D.L.T.), conduisaient inévitablement à utiliser des chambres métriques.

Sans utiliser des miroirs, il aurait donc fallu :

- disposer de 3 paires de chambres métriques,
- assurer une quasi-instantanéité des prises de vues en évitant les contre-jours dus aux éclairages,
- exposer, développer et archiver plus de 600 plaques photographiques (6 par sujet et par position, assise et debout),
- restituer plus de 300 couples stéréoscopiques.

C'est pourquoi, nous avons retenu l'utilisation de miroirs qui, malgré les difficultés rencontrées, s'est avérée a posteriori efficace et économique.

2.2 - Etude de l'installation -

Une première étude, complétée par des essais, a permis d'optimiser la géométrie d'ensemble, et notamment de rapprocher le plus possible le sujet des miroirs pour limiter les déformations. La situation verticale de la base permet d'optimiser le rapport base/éloignement et donc la précision de la restitution. La figure 1 représente le schéma de l'installation.

La grande profondeur du champ imposait une faible ouverture (f/22 à f/32) et, par suite, un éclairage puissant (flashes électroniques totalisant une énergie d'éclair de plus de 6000 Joules). Des essais ont permis de déterminer la meilleure disposition des torches pour un éclairage sensiblement homogène du sujet, les miroirs contribuant également à l'éclairage. La projection d'un motif contrasté n'a pas été retenue, en raison de la complexité due à la présence des miroirs et également afin de ne pas masquer les points anatomiques marqués. La finesse de l'émulsion retenue, complétée par un maquillage partiel du sujet, a permis d'assurer une observation stéréoscopique satisfaisante.

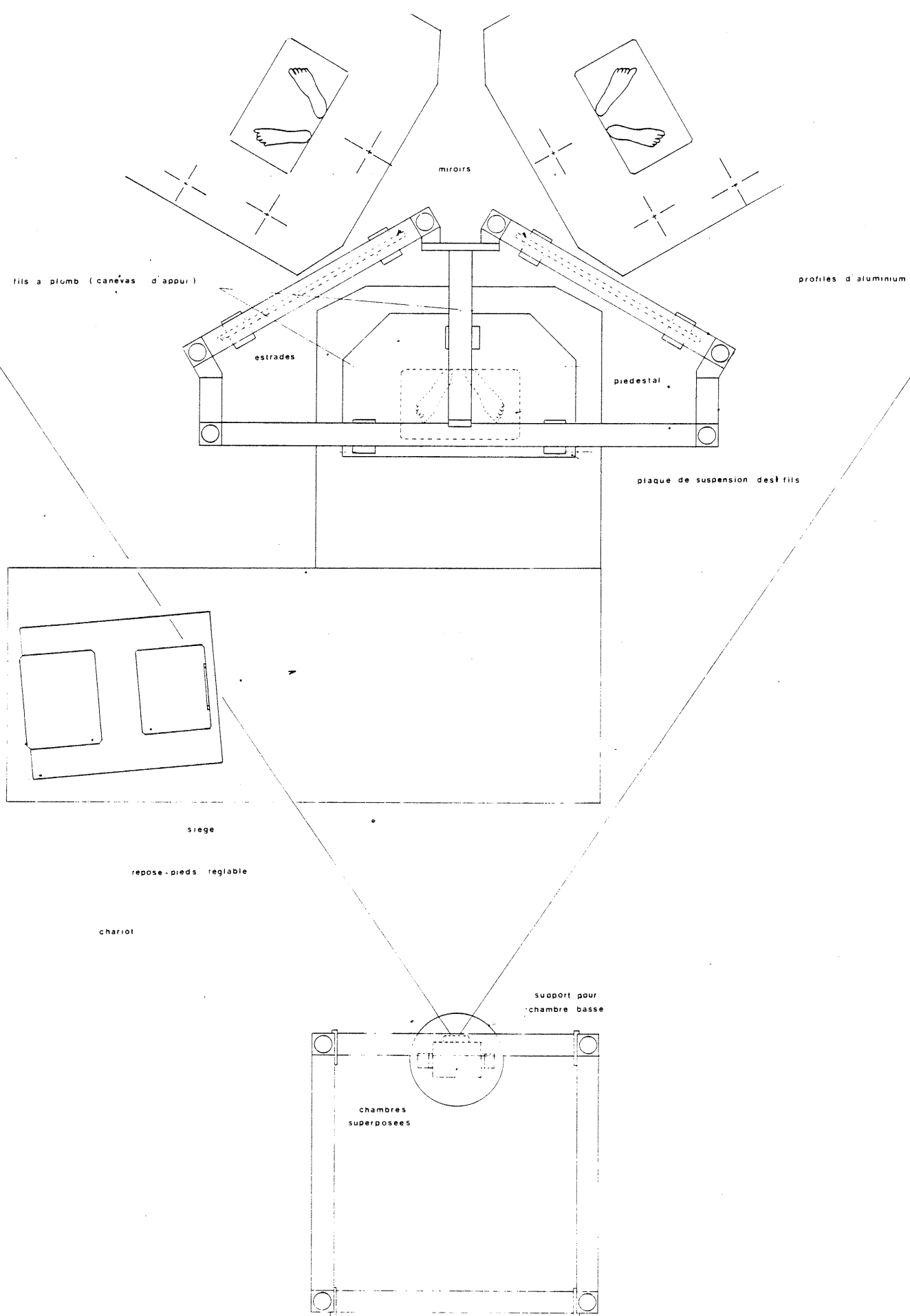


Figure 1 - Schéma de l'installation.

Le choix des miroirs a nécessité différents calculs, mesures et essais (1), qui ont montré notamment :

- l'intérêt d'une orientation absolue locale sur un canevas visible à travers les miroirs,
- la nécessité de ne pas traverser l'épaisseur du verre afin d'éviter le dédoublement des images, d'assurer la meilleure netteté et de limiter les causes de déformations.

L'utilisation de dalles de verre épaisses, et l'argenteure en face avant ont finalement permis d'obtenir la qualité requise, pour un coût très raisonnable.

Enfin un système de fils à plomb portant des cibles a permis de réaliser un canevas pratiquement immatériel dont certaines cibles sont visibles directement, d'autres à travers les miroirs. Des fils à plomb complémentaires peuvent être installés en l'absence du sujet, afin de procéder à l'évaluation de précision. Les solutions technologiques adoptées tiennent compte des nécessités d'étalonnage en laboratoire du canevas et de réglage simple sur site. L'erreur de précision finale du canevas est inférieure à 0,2 mm.

3 - RESULTATS -

3.1 - Caractéristiques de l'installation -

L'installation finale, représentée par la figure 2, est entièrement démontable et transportable. Sa mise en place et son réglage peuvent être réalisés en moins de 4 heures par une équipe de trois personnes.

En dehors des périodes d'utilisation, les miroirs sont protégés contre l'oxydation, ce qui leur garantit une durée de vie de plusieurs années. En cas de détérioration, ils peuvent être rapidement réargentés.

La précision de l'ensemble a été évaluée sur le canevas complémentaire, en utilisant les matériels suivants :

- chambres ZEISS IENA UMK 10 N/13 x 18,
- plaques photographiques AGFA SCIENTIA 23D56 FL 6,
- stéréorestituteur analytique MATRA TRASTER.

Deux couples ont été restitués. Les résultats sont les suivants :

(1) Les premiers miroirs utilisés ont conduit à des déformations de l'ordre de 25 mm.

- l'erreur de précision de la moyenne de 3 pointés ne dépasse pas $\pm 1,4$ mm. ; l'intervalle de confiance à 95% est de $\pm 0,7$ mm (1),
- l'écart-type du pointé est de 0,2 mm en direct et de 0,7 mm à travers les miroirs, ce qui correspond à des écarts-types respectifs sur les parallaxes de 5 à 7 μ m (2).

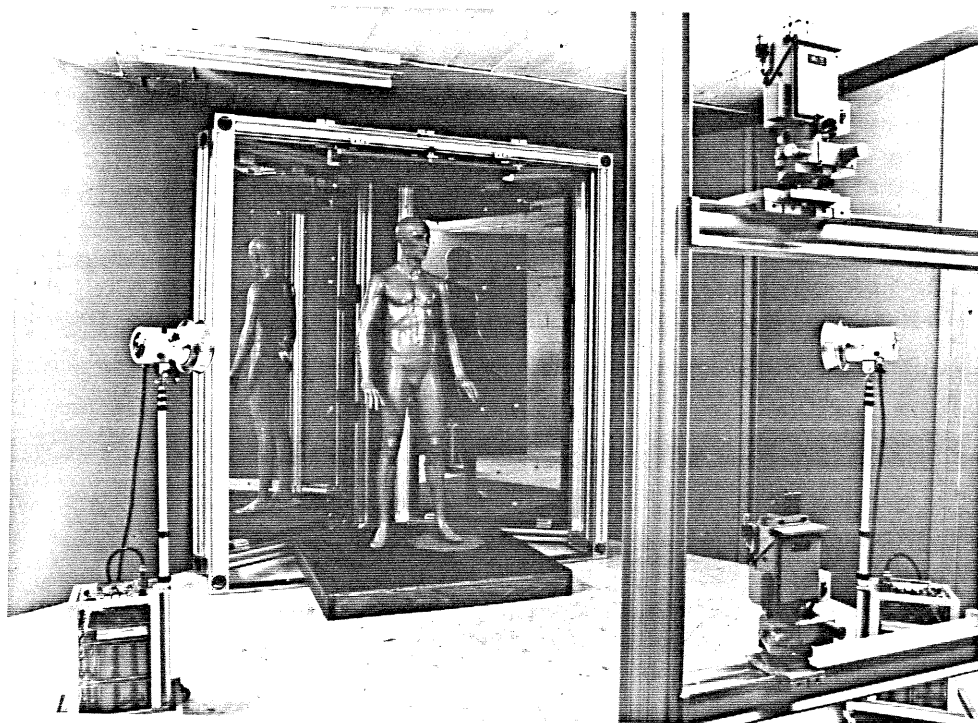


Figure 2 - Installation de prise de vues.
(Les positions des chambres et des éclairages ne sont pas nominales).

-
- (1) Bien entendu l'erreur n'a pas un caractère aléatoire, notamment en raison des déformations dues aux miroirs.
 - (2) Ces valeurs sont confirmées par la restitution de points anatomiques sur sujets vivants.

La restitution de profils ne pose aucune difficulté majeure. Les formes cachées sont extrêmement réduites, comme le montre la coupe représentée sur la figure 3. Pour un opérateur expérimenté, l'écart-type de pointé sur la peau ne dépasse généralement pas 1 mm.

3.2 - Application à l'étude de la morphologie du corps humain

3.2.1 - Comparaison de deux méthodes de mesure :

Dans le but de valider la méthode photogrammétrique mise au point, une étude anthropométrique a été réalisée sur un échantillon de jeunes adultes du sexe masculin (R. MOLLARD et Coll., 1982, 1983). Afin d'obtenir, après restitution, des informations stéréométriques permettant de calculer à la fois des dimensions, des volumes et surfaces corporels, nous avons matérialisé au crayon dermatographique des repères sur la peau des sujets : 107 points anatomiques ont été identifiés. Une série de 15 mesures anthropométriques de référence, longitudinales et transversales, a également été relevée, en utilisant les méthodes de mesures traditionnelles (toise, compas, pied à coulisse). Comme il l'a été mentionné précédemment, un quadrillage au crayon noir a été dessiné sur chaque sujet pour faciliter les restitutions de contours corporels et assurer une meilleure précision dans le pointé de la surface cutanée. Chaque sujet a été photographié en position debout standard et assis redressé.

En comparant les dimensions corporelles relevées par les techniques anthropométriques traditionnelles, et calculées après restitution, nous avons constaté de très faibles différences : un à trois millimètres suivant la mesure. Les valeurs calculées à partir des données stéréométriques sont d'une manière générale très légèrement supérieures à celles obtenues par mesure directe. Toutefois, les corrélations qui existent entre les mesures anthropométriques restent équivalentes quelle que soit la technique utilisée et nous avons vérifié que pour chaque mesure, la corrélation entre les deux valeurs obtenues reste très élevée ($.96 < r < .99$).

Par l'édition de nuages de corrélation entre les deux séries de valeurs on peut constater que les sujets se répartissent de manière homogène de part et d'autre de l'axe du nuage, la dispersion est très faible et il n'y a pas de valeurs aberrantes, l'axe du nuage est parallèle à la droite d'égales valeurs et les mesures biostéréométriques (3-D) sont pour la plupart supérieures aux mesures directes (1-D), (figure 4). Les différences observées sont en fait le résultat de l'utilisation de deux moyens de mesure différents mais aussi de la variabilité biologique intra-individuelle.

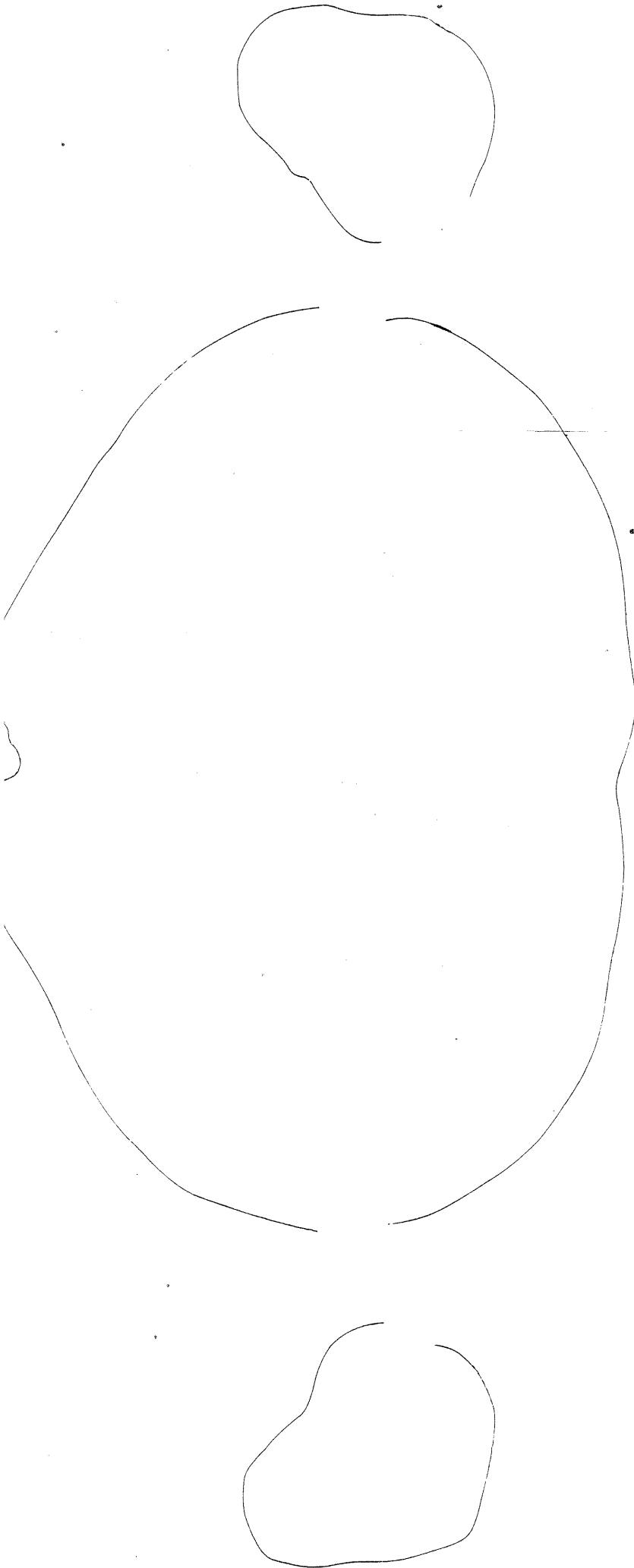


Figure 3 - Exemple de restitution de contours au niveau du tronc et des membres supérieurs.

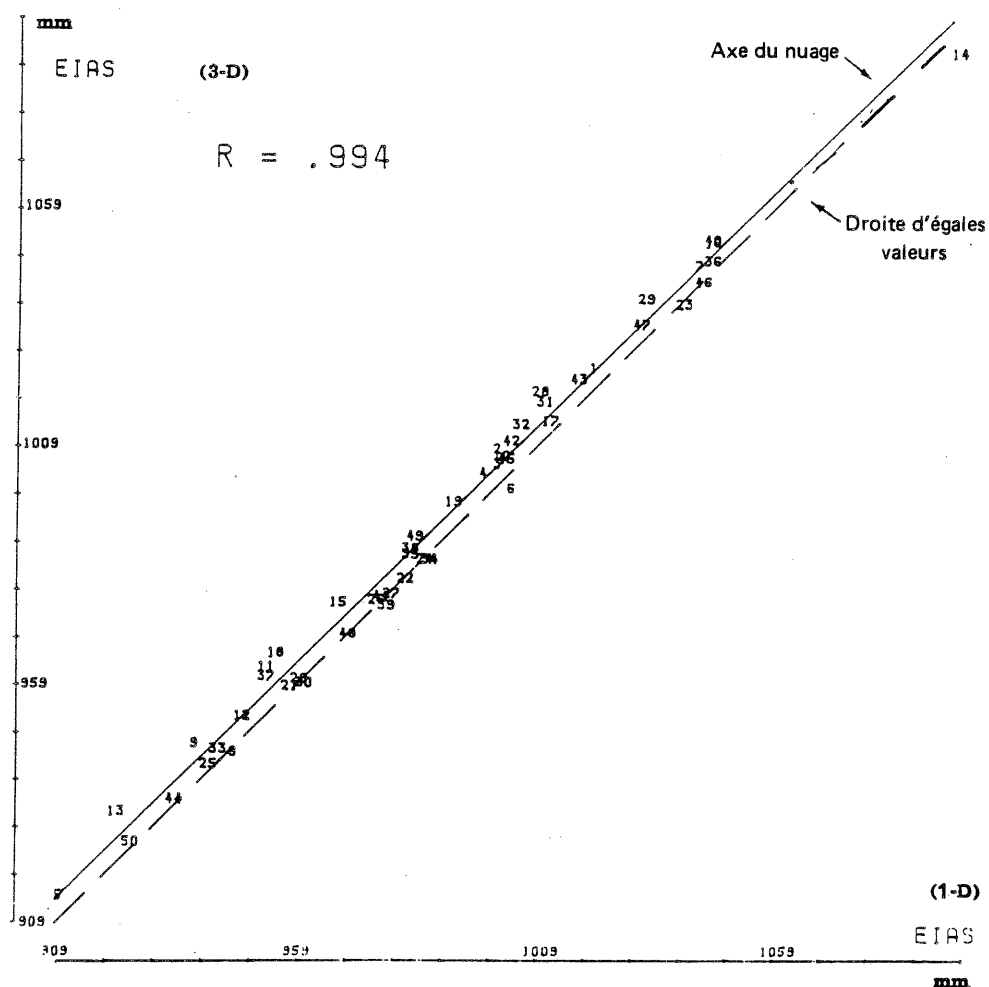


Figure 4 - Mesure de la hauteur E.I.A.S. gauche-sol. Nuage de répartition des sujets pour les deux techniques de mesure : traditionnelle (1-D) et biostéréométrique (3-D).

3.2.2 - Calculs des surfaces et volumes corporels :

Une restitution très complète sous forme de périmètres corporels a été effectuée pour un groupe de six sujets de morphologies très différentes. De 10.000 à 16.500 points ont été numérisés suivant le cas (figure 5). Ceci avait pour but de :

- calculer et d'étudier la variabilité des surfaces et volumes corporels, globaux et segmentaires,
- d'acquérir les informations biostéréométriques pour des analyses de formes,

- de rechercher les densités optimales de points nécessaires par éléments segmentaires pour permettre une détermination précise des paramètres surface et volume.

Des essais de répétabilité lors de la restitution des périmètres ont permis de vérifier la fiabilité et la précision de la méthode.

A l'examen du tableau 1, on peut constater que le volume corporel global est fonction du poids du sujet, ce qui est normal puisque la densité du corps humain est voisine de 1. Par contre les valeurs de la surface enveloppe fluctuent de manière plus importante. Les estimations que l'on peut faire à partir des données somatiques de référence, le poids et la stature, peuvent s'écarter des valeurs expérimentales de :

- 4,4 à 10,9% pour la surface, en appliquant la formule de DUBOIS (1916),
- 2,4 à 8% pour le volume, en utilisant l'équation de régression établie par McCONVILLE (1980).

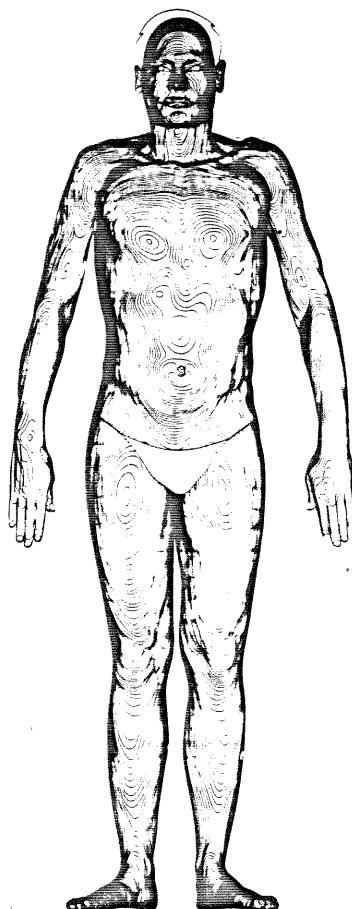


Figure 5 - Représentation sous forme de courbes de niveau d'un sujet en position debout standard, à partir de la restitution de 16.500 points.

Tableau 1 - Détermination des surfaces et volumes corporels par photogrammétrie. Estimation des valeurs à partir du poids et de la stature. Comparaison avec les données expérimentales.

SUJETS	04	06	22	24	44	46
Surfaces : (m ²)						
Valeurs exp.	1.8298	1.8285	1.6696	1.7173	1.5613	1.9747
Estimations (1)	1.903	2.028	1.800	1.795	1.660	2.130
Ecart (%)	4.4	10.9	7.8	4.5	6.3	7.8
Volumes : (dm ³)						
Valeurs exp.	76.153	79.731	64.061	66.612	59.141	90.456
Estimations (2)	77.961	86.076	68.895	70.846	62.712	93.125
Ecart (%)	2.4	8.0	7.5	6.4	6.0	3.0

(1) d'après DUBOIS et DUBOIS (1916) :

$$S \text{ (m}^2\text{)} = 17,84 \times \text{Poids}^{.425} \text{ (kg)} \times \text{Stature}^{.725} \text{ (cm)}$$

(2) d'après McCONVILLE et Coll. (1980) :

$$V \text{ (cm}^3\text{)} = 13,63 \times \text{Stature (cm)} + 456,54 \times \text{Poids (livres} \\ + 88.$$

4 - CONCLUSION -

Par l'utilisation de la photogrammétrie, on peut quantifier de manière précise : dimensions, surfaces et volumes corporels sur le vivant.

Grâce une étude métrologique préalable, nous avons pu aboutir à une solution optimisée de la prise de vues, avec des clichés de bonne qualité, qui permettent d'obtenir une précision moyenne de $\pm 0,7$ mm à la restitution de points marqués ou non sur la surface du corps humain.

La station de mesure réalisée comprend une paire de chambres métriques disposées sur une base verticale et deux miroirs verticaux. De cette manière, en une seule prise de vues, nous disposons d'informations sur le sujet en vue de face (visée directe) et de trois quarts (miroirs) permettant ainsi de visualiser à la restitution le sujet dans son ensemble.

En utilisant ce moyen de mesure biostéréométrique nous avons effectué une étude morphologique d'un échantillon de jeunes adultes français.

La validité de cette méthode a pu être vérifiée pour la détermination de dimensions anthropométriques, de surfaces et de volumes corporels, globaux et segmentaires.

La restitution classique constitue cependant un handicap important, ne serait-ce que par ses coûts et délais. Nous envisageons de rendre cet outil plus abordable en lui intégrant des moyens de restitution automatiques ou semi-automatiques qui conservent une bonne précision dans le pointé et la possibilité de différencier des points anatomiques préalablement identifiés sur le sujet.

Remerciements : Les auteurs tiennent à adresser leur reconnaissance à la Direction des Recherches, Etudes et Techniques du Ministère de la Défense qui a assuré le financement de cette étude (Réf. 83/340).

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

- COBLENTZ (A.); HERRON (R.), 1978.- Les applications de la stéréométrie à la biométrie humaine.- Symposium OTAN. Paris, Juillet, SPIE, volume 166, 374 p.
- McCONVILLE (J.T.); CHURCHILL (Th.D.); KALEPS (I.); CLAUSER (CE.); CUZZI (J.), 1980.- Anthropometric relationships of body and body segment moments of inertia.- AF AMRL-TR-80-119, Wright-Patterson Air Force Base.- Ohio, 109 p.
- DUBOIS (D.); DUBOIS (E.F.), 1916.- A height-weight formula to estimate the surface area of man. Proc. Soc. Exp. Biol. Med., 13, pp.77-78, cité par PIERSON W. in Photogrammetric Engineering, 1961, 27.
- HERRON (R.), 1972.- Biostereometric measurement of body form Yearbook of Physical Anthropology, 16, pp. 80-121.
- HERRON (R.), 1982.- Biostereometrics'82. San Diego. Août, SPIE, volume 361, 359 p.
- MOLLARD (R.); SAUVIGNON (M.); PINEAU (J.C.), 1982.- Biostereometric study of a sample of 50 young adults by photogrammetry.- Biostereometrics'82, SPIE, volume 361, p. 234-240
- MOLLARD (R.); PINEAU (J.C.); IGNAZI (G.); COBLENTZ (A.), 1983.- Biostéréométrie du corps humain. Apport de la photogrammétrie dans la connaissance des dimensions et de la forme corporelles.- Cahiers d'Anthropologie et Biométrie Humaine, Paris, I, n°1, pp. 1-17.