

ETUDE BIOSTEREOMETRIQUE DE GESTES PAR
STROBOPHOTOGRAMMETRIE INFRAROUGE

A. COBLENTZ, R. MOLLARD, G. IGNAZI, J.C. PINEAU

Anthropologie Appliquée et Ecologie Humaine
Université René Descartes - PARIS V - FRANCE

Commission V

1 - INTRODUCTION -

De nombreux auteurs se sont préoccupés de décrire et de quantifier les mouvements du corps humain en termes de déplacements - translations et rotations - vitesses et accélérations. Pour la plupart, ils utilisent des appareils photographiques, métriques ou non, couplés à des stroboscopes, des caméras cinématographiques synchrones ou encore des systèmes vidéo.

L'avantage de la première solution réside dans le fait que toute l'information se trouve concentrée sur un seul couple photographique mais cela nécessite un codage rigoureux des mires à restituer. Pour obtenir des clichés corrects on doit faire des acquisitions avec une luminosité réduite, voire l'obscurité complète, ou alors utiliser des stroboscopes de grande puissance. Dans les deux cas, **on va perturber le sujet ce qui entraîne une modification très difficile à évaluer, dans l'accomplissement du geste.**

On peut citer le travail de M. BULLOCK (1974), qui a étudié par cette méthode, les déplacements du tronc et du pelvis d'un opérateur assis, lors de l'action sur une pédale.

En utilisant plusieurs miroirs et une caméra cinématographique 70 mm, M. AYOUB (1976) a décrit et analysé un ensemble de gestes simples liés à des tâches typiques de pilotage. Les enregistrements ont été effectués sur un groupe restreint de 7 sujets et 6 types de mouvements ont été étudiés. Les trajectoires tridimensionnelles des points marqués ont été reconstruites par numérisation des vues orthogonales transmises par des miroirs sur chaque cliché. Les cadences d'acquisition étaient de 10 images/seconde ce qui donne un ensemble de 20 points pour décrire les phases aller et retour du mouvement.

Avec cette méthode il apparaît clairement que le nombre de sujets et le nombre d'images par mouvement, retenus pour caractériser une action typique, ont été réduits du fait de la lourdeur de l'exploitation des données. Utiliser un tel dispositif paraît difficilement concevable dans le but de collecter un nombre important d'informations biostéréométriques.

ques (3-D) sur chaque geste pour étudier les variabilités intra et inter-individuelles sur un échantillon diversifié de sujets et des postures variées.

Afin de permettre des représentations dynamiques réalistes de modèles 3-D de corps humain lors d'analyses en C.A.O. (Conception Assistée par Ordinateur), nous avons entrepris de constituer un catalogue informatisé du mouvement, intégré au sein d'ERGODATA, la Banque de Données Internationales de Biométrie et d'Ergonomie, mise en place au Laboratoire.

Pour cela, nous avons choisi d'utiliser un système d'acquisition et de traitement automatisé, le VICON (1), qui permet une obtention rapide d'informations stéréométriques à partir d'une saisie par caméras vidéo synchrones équipées d'un éclairage stroboscopique à infrarouge. Il convient de souligner que ce type d'éclairage n'est pas perturbant pour le sujet, ce qui est essentiel pour des études de mouvement.

2 - METHODE -

2.1 - Dispositif d'acquisition biostéréométrique -

L'ensemble comprend (figure 1) :

- des caméras vidéo (2 à 7) équipées de stroboscopes à infrarouge,
- une unité d'acquisition des signaux vidéo, avec un module de détecteurs de mires,
- un mini-ordinateur et une unité de stockage,
- un logiciel de gestion et de traitement des données,
- un dispositif de calibration.

Ce système de mesure 3-D permet des acquisitions de trajectoires de mires à des cadences variables, la cadence maximale étant actuellement de 50 images/seconde pour des caméras vidéo standards.

Un logiciel spécialisé, utilisable en mode conversationnel, gère l'ensemble des opérations. Après une définition du type d'acquisition à effectuer : nature du mouvement, nombre de mires, volume de mesure, on doit rechercher l'implantation optimale des caméras de manière à ce que chacune des mires à un même instant soit dans le champ d'au moins deux caméras.

(1) Distribué par Oxford Dynamics.

Il convient ensuite de définir les paramètres du test, et de réaliser une acquisition de référence afin d'obtenir une calibration du dispositif pour un volume donné de mesure et une position des caméras. Ceci s'effectue en plaçant un ensemble de mires dans le volume de mesure, la position de chacune des mires étant définie par rapport à un référentiel et par rapport aux autres mires.

Pour une position des caméras, une seule calibration est nécessaire, celle-ci pouvant être réalisée avant ou après les expérimentations, mais dans tous les cas avant d'effectuer la reconstruction 3-D des trajectoires.

Le processus d'acquisition et de traitement des données est schématisé sur la figure 2.

Pour chaque essai il est possible de choisir :

- le nombre de mires à analyser,
- la cadence d'acquisition : maximum 50 images/seconde,
- la durée d'acquisition : maximum 5 secondes pour une cadence de 50 images/seconde,
- la prise simultanée ou non de données analogiques provenant de plates-formes de forces ou d'enregistrements d'activité électrique musculaire (E.M.G.).

Les mires se composent d'un cône d'un centimètre de hauteur, recouvert d'une substance réfléchissante, la mire est fixée par un adhésif double face sur le point à étudier.

Les données acquises par chaque caméra doivent être analysées, dans un premier temps, séparément. Pour cette opération, l'expérimentateur identifie sur la première image chacune des mires par un numéro d'ordre. Les reconstructions bidimensionnelles (2-D) puis tridimensionnelles (3-D) des trajectoires s'effectuent ensuite de manière automatique.

Les résultats peuvent être obtenus sous forme de listes de coordonnées X, Y, Z pour chaque mire, avec identification de l'image correspondante et sous forme graphique. Différents modes de visualisation sont alors possibles. La résolution de cet appareil compte-tenu du nombre de lignes balayées par le système TV est la suivante :

- horizontal $\pm 0,1$ % du champ de mesure,
- vertical $\pm 0,3$ % du champ de mesure.

2.2 - Protocole d'expérimentation -

Dans une première étape, nous avons procédé à une série d'expérimentations portant sur l'analyse et la quantification d'actions simples du membre supérieur droit : atteinte de commandes pour un opérateur assis. Les essais ont été effectués pour un groupe de quinze sujets du sexe masculin situés entre les 5ème et 95ème percentiles de la population française, pour la longueur du membre supérieur droit (L.M.S.).

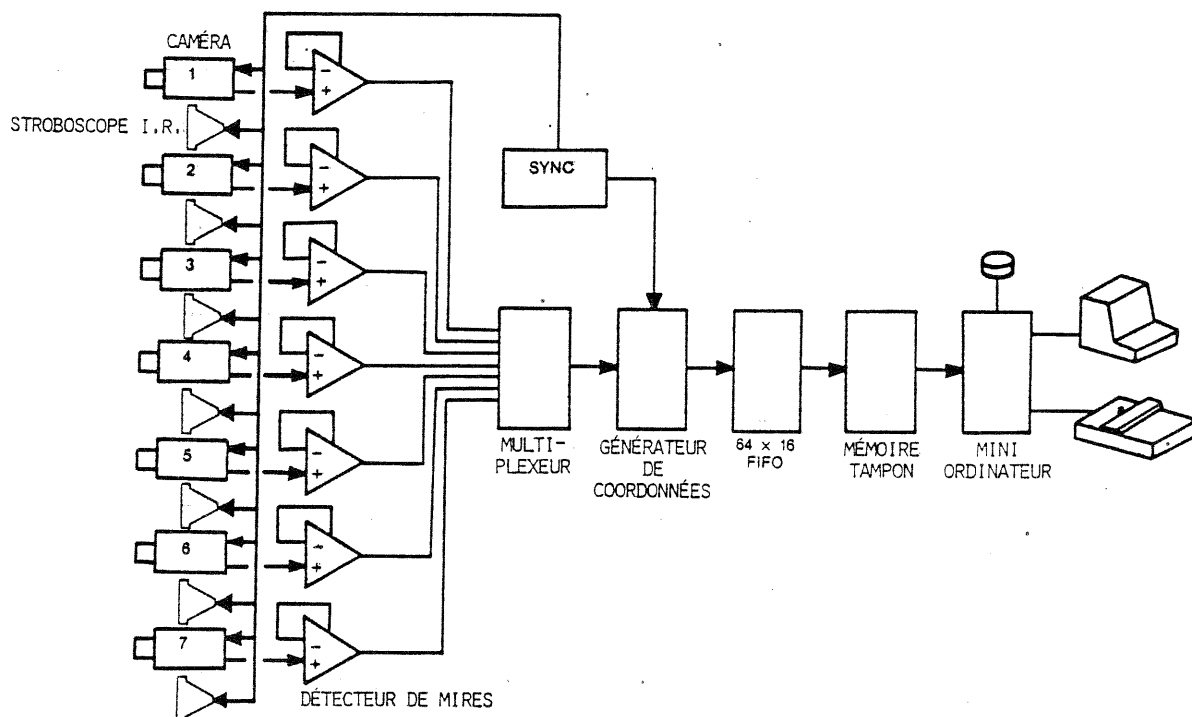


Figure 1 - Diagramme du dispositif de mesure biostéréométrique.

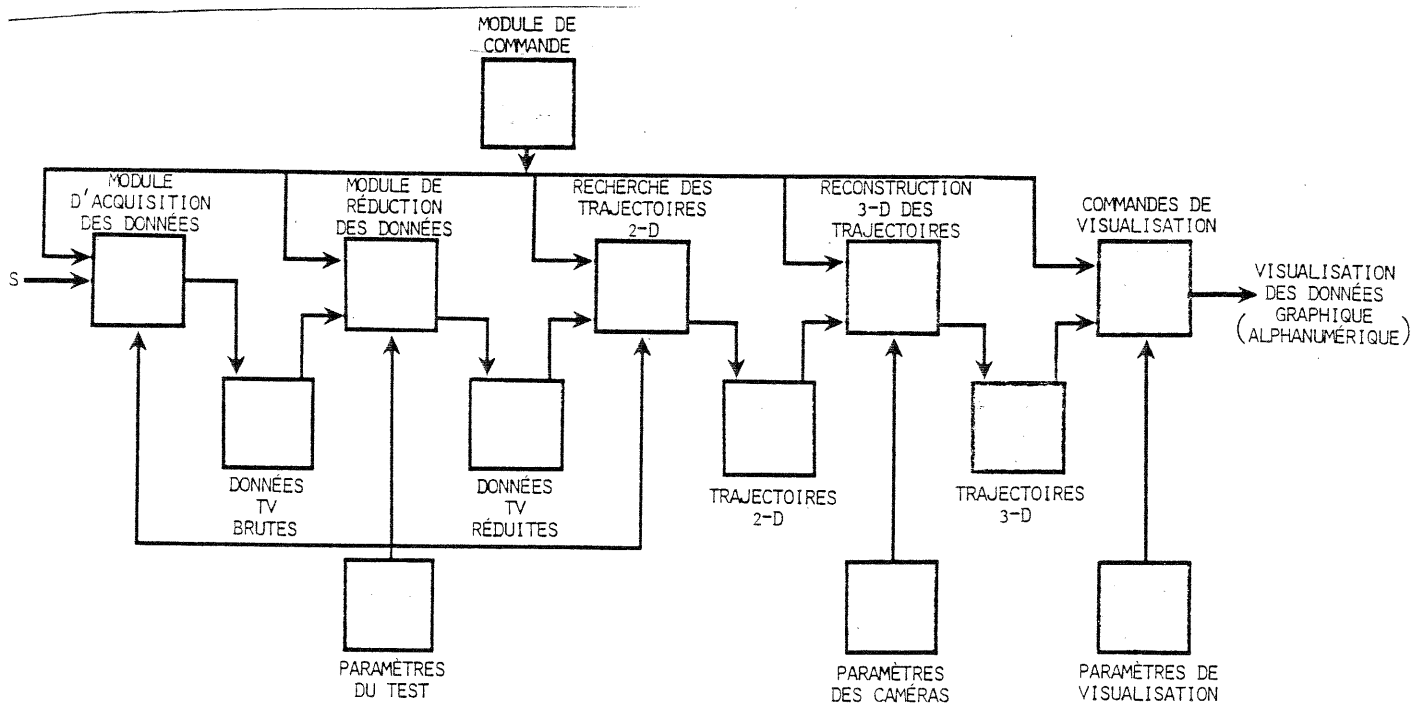


Figure 2 - Principe d'utilisation du système.

Cinq mires étaient placées sur le sujet aux niveaux de points anatomiques (figure 3) :

- point 1 : trochanter D (hanche),
- point 2 : acromion D (épaule),
- point 3 : épicondyle D (coude),
- point 4 : styloïde cubitale D (poignet),
- point 5 : tête 3ème métacarpe D (main).

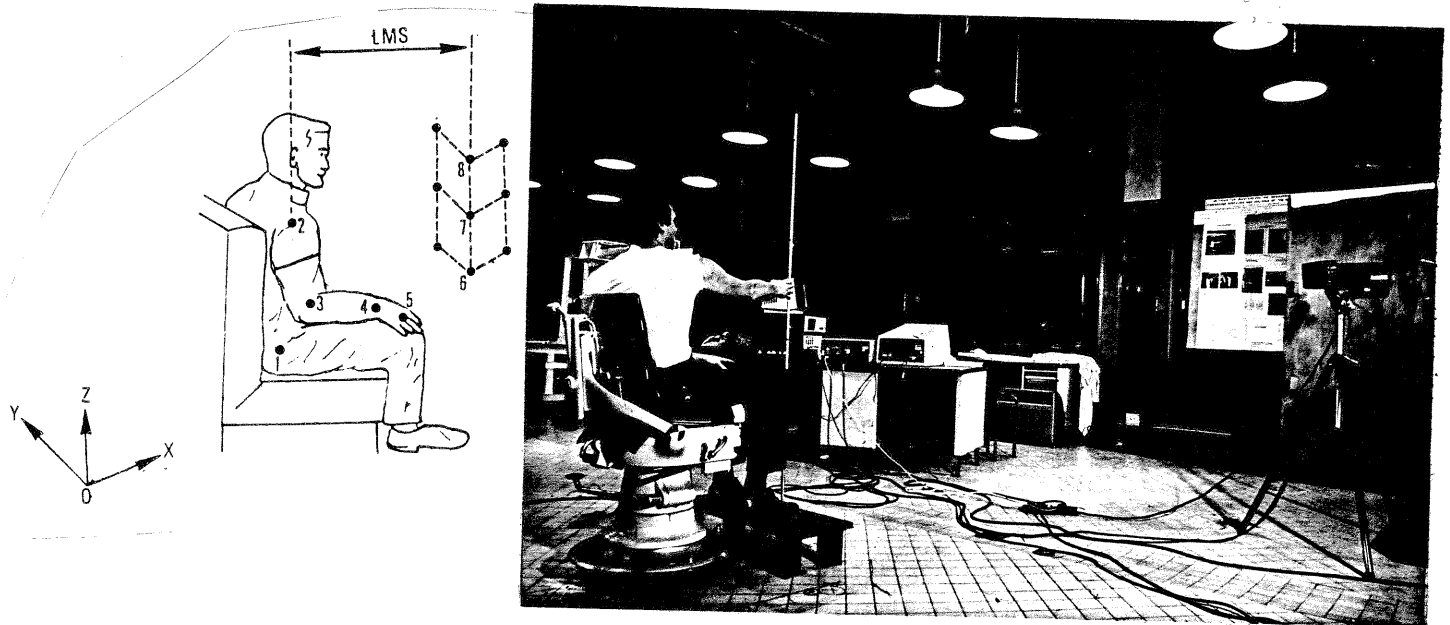


Figure 3 - Dispositif d'acquisition et position du sujet.

Les mires 2, 3, 4 et 5 étaient placées directement sur la peau du sujet.

Les mires 6, 7 et 8 représentaient les commandes à atteindre. Le point 7 se trouvait à la même cote d'altitude que le point 2 (épaule), à une distance X du point 2 égale à la longueur du membre supérieur (LMS) du sujet, et les points 6 et 8 situés respectivement à environ 200 mm de part et d'autre du point 7 sur une même verticale.

Cette configuration a permis d'analyser trois types de mouvements d'atteintes.

Deux autres séries d'essais ont été effectuées pour une translation des points 6, 7 et 8, soit de 200 mm vers l'avant (axe des X) soit de 200 mm vers la gauche (axe des Y).

Pour chaque essai le sujet était placé dans la même position assise :

- angle plan d'assise-horizontale ... 5 degrés,
- angle dossier-horizontale 105 degrés.

Pour tous les essais, la position de départ du membre supérieur droit était la même (cf. figure 3). Il était demandé au sujet d'atteindre un des trois points (6, 7 ou 8) symbolisant une commande et de revenir à la position initiale.

Nous avons employé un éclairage fluorescent pour les phases d'acquisition de manière à éliminer toute source d'infrarouge parasite.

Dans le but d'éviter toute perte d'information au cours des phases d'enregistrement, trois caméras vidéo ont été utilisées. Elles étaient situées à une distance moyenne de 2,5 m du sujet, la distance inter-caméra étant de 1,40 m.

3 - RESULTATS -

En fonction du protocole retenu, nous avons tout d'abord vérifié que le système d'acquisition répondait aux points suivants :

- souplesse d'utilisation,
- répétitivité de la mesure,
- possibilités de transfert des données sur ERGODATA (R. MOLLARD et Coll., 1983).

En ce qui concerne les temps nécessaires à la calibration et à l'acquisition d'un mouvement simple, il fallait compter pour des utilisateurs peu expérimentés :

- calibration 1 heure,
- étude d'un mouvement ... 10 à 15 minutes.

Rappelons qu'une seule calibration reste nécessaire pour une configuration donnée des caméras.

Pour l'étude d'un mouvement simple ce temps comprend :

- l'acquisition du geste,
- la reconnaissance des trajectoires 2-D,
- la reconstruction 3-D des trajectoires,
- l'édition sous forme graphique des phases typiques du mouvement: déplacements de segments anatomiques et trajectoires des mires.

Un exemple de reconnaissance de trajectoires 2-D pour la caméra 2 est représenté sur la figure 4, dans le cas d'une acquisition portant sur les trois niveaux d'atteintes.

Après la reconstruction 3-D des trajectoires il est possible d'éditer par image, les coordonnées X, Y et Z de chaque mire. Différents modes de représentations graphiques sont également possibles (figures 5 et 6). Ils permettent :

- de vérifier la cohérence des données acquises,
- de décrire les principales phases du mouvement.



Figure 4 - Reconnaissance de trajectoires 2-D.

Nous avons notamment pu constater que les trajectoires des mires 3, 4 et 5 situées respectivement au niveau du coude, du poignet et de la main du sujet, présentaient des différences notables en les phases aller et retour, ceci en fonction de :

- la localisation spatiale de la commande à atteindre,
- la morphologie du sujet,
- la position du sujet.

D'autres facteurs, qui n'ont pu être pris en compte lors de ces premiers essais, doivent également avoir une influence et ils seront étudiés lors des prochaines expérimentations. On peut citer :

- l'orientation des segments anatomiques en début et fin de mouvement,
- le degré de coordination oculomotrice nécessaire,
- la direction du mouvement,
- la nature de l'action sur la commande : précision, force à développer,
- le stress,
- l'équipement du sujet,
- les contraintes d'espace liées à l'environnement,
- les sollicitations externes : chocs, vibrations.

A partir des données expérimentales, nous avons également chercher à évaluer la répétitivité du système pour la détermination des coordonnées des points étudiés.

Pour des phases en statique, les coordonnées des points sont déterminées dans 95% des cas à :

X : $\pm 1,3$ mm.
 Y : $\pm 1,6$ mm.
 Z : $\pm 1,3$ mm.

Par contre au cours du mouvement, ces valeurs sont globalement doublées, ceci est très vraisemblablement lié au fait que les mires sont placées sur la peau et que celle-ci est un support souple qui se déforme au cours du geste.

VICON 002E-04 OMC DEMONSTRATION SYSTEM VI2:[300,100]MS005ST ;12
 REGIS 18-FEB-1983 13:23:16
 FRAME 40 TO 70, STEP 1, MODE T S, SPREAD 0.000, 0.000
 PLOT OPTION ?:

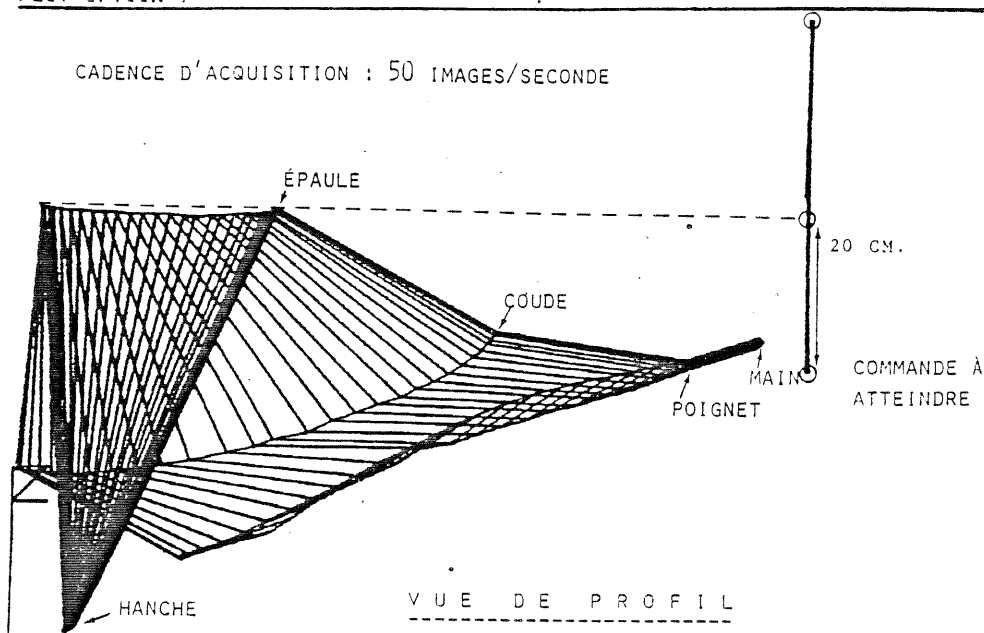


Figure 5 - Plan sagittal-vertical. Exemple de représentation d'un mouvement d'atteinte. Chaque élément anatomique est représenté par un trait reliant deux mires.

VICON 002E-04 OMC DEMONSTRATION SYSTEM VI2:[300,100]MS005ST ;12
 REGIS 18-FEB-1983 13:24:36
 FRAME 1 TO 70, STEP 5, MODE T, SPREAD 0.000, 0.000
 PLOT OPTION ?:

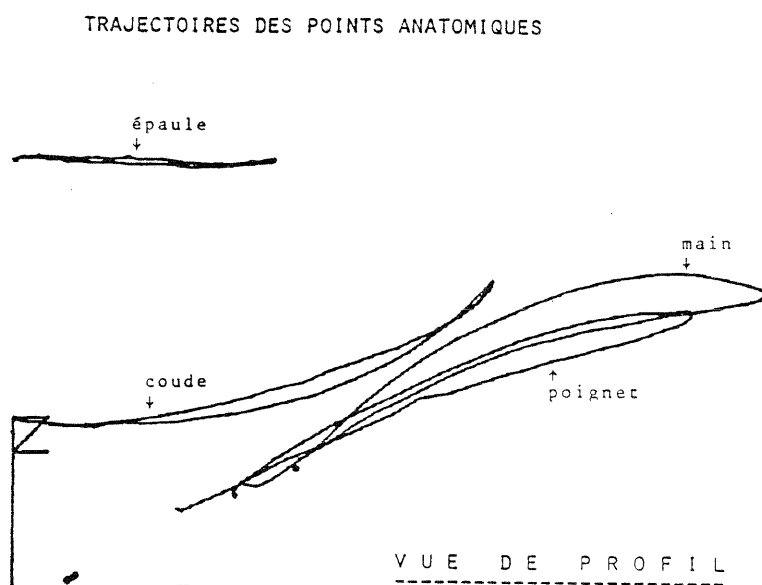


Figure 6 - Trajectoires des mires analysées. Représentation dans un plan sagittal vertical. Exemple d'un mouvement d'atteinte d'une commande située à 20 cm en dessous des épaules.

Cette mobilité de la peau par rapport aux repères osseux sous-jacents va nécessairement entraîner une erreur dans les déterminations des coordonnées des mires, dont on ne peut totalement s'affranchir lorsqu'on veut étudier des mouvements sur l'Homme.

4 - CONCLUSIONS -

Afin de constituer un catalogue informatisé du mouvement, utilisable pour des représentations dynamiques de modèles de corps humain, nous avons entrepris un recueil systématisé de gestes pour des situations très diverses, en utilisant un moyen d'analyse biostéréométrique automatisé, le VICON. Ce système se révèle très souple d'utilisation, précis, fiable, et non perturbant pour le sujet du fait de l'utilisation d'un éclairage stroboscopique à infrarouge.

Les premiers essais ont porté sur des analyses de gestes simples d'atteintes de commandes pour un échantillon de sujets, en position assise. Ils s'intègrent dans une approche très générale de l'étude des relations morphologie - posture-gestuelle.

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. 83/339).

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

AYOUB M. et Coll., 1976.- Paths of movement for selected body segments during typical pilot tasks.- AMRL-TR-75-111. Wright-Patterson Air Force Base. Ohio.

BULLOCK M.I., 1974.- The determination of an optimal pedal-operator relationship by the use of photogrammetry.- Biostereometrics 74, pp.290-317.

MOLLARD R.; PINEAU J.C.; COBLENTZ A., 1983.- Analyse de mouvements par strobophotogrammétrie infrarouge. Com. au 8ème Congrès de la Société de Biomécanique. Villeurbanne.- 7-8 juillet.