

Séréorestituteur analytique et table de report automatique  
Une solution modulaire basée sur la décentralisation des fonctions de contrôle

## INTRODUCTION

Dès l'introduction des stéréorestituteurs analytiques voilà deux décennies, la technique des ordinateurs a été caractérisée par un développement qui a dépassé les prévisions les plus optimistes. Malgré tout, l'architecture des systèmes commercialisés au cours de cette période présente un dénominateur commun; l'asservissement du système (stéréorestituteur, table de report) est réalisé à partir d'un ordinateur central. Cette conception traditionnelle présente certains inconvénients non négligeables qui sont en partie à l'origine d'une propagation lente des stéréorestituteurs contrôlés par ordinateur. Citons quelques-uns d'entre eux:

- Investissement de base important dû à l'acquisition d'un ordinateur complet.
- Utilisation irrationnelle de la capacité de l'ordinateur pour les calculs en temps réel et le traitement direct des données à partir du stéréorestituteur analytique.
- Manque de flexibilité dans le cas d'extensions futures.
- Le fonctionnement des unités périphériques dépend essentiellement de l'ordinateur, qui comprend toute l'intelligence du système. Une avarie de l'ordinateur immobilise toute l'installation.
- Les éléments de liaison entre l'ordinateur et la machine (les interfaces développés à cet effet) entraînent certaines limitations dans le choix du type d'ordinateur central à utiliser.

La nécessité de recourir à des stéréorestituteurs analytiques dans le domaine de la photogrammétrie est une évolution logique que personne ne peut plus mettre en question. Les données de départ qui définissent le cahier des charges d'un tel projet sont connues depuis l'utilisation à grande échelle des appareils analogiques. L'approche du problème dépend essentiellement de l'état de la technique qui, dans le domaine de l'électronique, évolue très rapidement.

Afin de répondre pour le mieux aux exigences actuelles de la photogrammétrie Kern introduit un nouveau système de stéréorestitution analytique basé sur la décentralisation des organes de traitement.

## PHILOSOPHIE DE BASE

Le système présenté découle d'une technologie basée principalement sur les dernières réalisations dans le domaine des micro-processeurs. Lors de la décentralisation des organes de traitement réalisée de manière logique, chaque processeur reçoit une tâche définie. Cette conception permet de réduire la complexité de la partie hardware, et le software associé est simple.

La modularité est assurée, car chaque partie fonctionnelle et sub-fonctionnelle du système est séparable. Son éloignement laisse le reste du système intact. Ainsi, la maintenance, la simplicité, la flexibilité se trouvent assurées pour le futur.

La flexibilité est donnée par l'architecture du système, qui facilite les modifications ponctuelles (dans un domaine particulier), les adaptations ainsi que les extensions et les contractions. La partie hardware et software est structurée de manière à offrir une flexibilité certaine qui est rehaussée par la modularité du concept.

La maintenance est un facteur déterminant dans un système d'une certaine complexité. Il est très important de pouvoir détecter rapidement l'origine d'un problème et de réparer ou remplacer l'élément défectueux.

L'architecture du système simplifie également l'entretien.

En créant un nouveau système, le constructeur doit respecter une évolution donnée et résister à la tentation d'être révolutionnaire. L'utilisateur doit pouvoir manipuler le nouveau système sans changer radicalement ses habitudes, tout en percevant progressivement de nouvelles voies qui contribuent à améliorer la rentabilité.

#### CONCEPT DU SYSTEME DE STEREORESTITUTION ANALYTIQUE (fig. 1)

Le système de base comprend deux unités opticomécaniques, d'une part le stéréorestituteur analytique DSR 1 (Digital Stereorestitution Instrument) et, d'autre part, la table de report automatique GP 1 (Graphic Peripheral). La décentralisation des organes de traitement est réalisée à l'aide de 5 micro-processeurs et un micro-ordinateur reliés entre eux par l'intermédiaire d'interfaces standard. La distribution dépend des composantes physiques et de la modularité du système ainsi que des priorités de calcul. Les fonctions des différents processeurs sont réparties de manière logique.

Le micro-ordinateur principal (P1) est une unité physique indépendante utilisée pour coordonner le transfert des données entre les différents modules. Il dispose d'un système d'exploitation flexible et d'un langage de programmation supérieur FORTRAN utilisé essentiellement pour le logiciel d'application. Le transfert des données entre P1 et P2 est réalisé à l'aide du langage ASSEMBLER. Une console (écran ou imprimante avec clavier) sert d'élément de liaison entre l'opérateur et P1. Elle permet l'introduction de certains paramètres qui se modifient rarement lors de la restitution et livre un protocole des résultats des différents programmes.

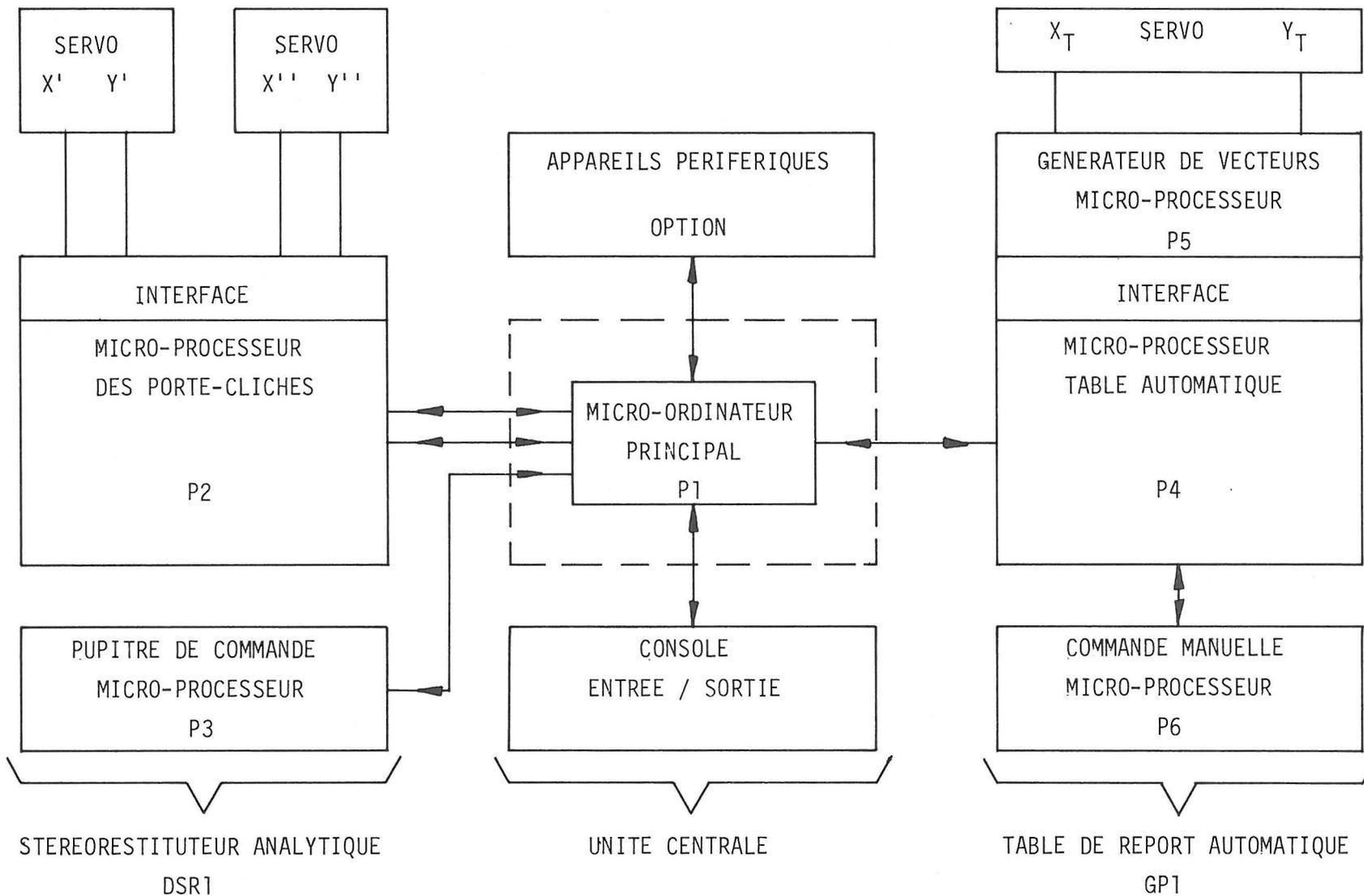
Les communications avec le micro-ordinateur P1 sont réalisées de la manière suivante:

- P1 reçoit les informations du pupitre de commande, micro-processeur P3,
- P1 calcule les éléments d'orientation et les transmet au micro-processeur P2 du stéréorestituteur analytique,
- P1 reçoit les coordonnées-modèle XYZ ou les coordonnées-cliché  $x'y'$ ,  $x''y''$  de P2,
- P1 transmet après transformation et codage les coordonnées  $X_T Y_T$  au micro-processeur P4 de la table de report,
- P1 peut recevoir les coordonnées  $X_T Y_T$  en retour,
- P1 peut transmettre les informations sous forme digitale à différents appareils périphériques.

Il faut noter que le flux des informations avec les différents micro-processeurs est bi-directionnel.

CONCEPT DU SYSTEME DE STEREOSTITUTION ANALYTIQUE (fig. 1)

156



Le micro-processeur P2 des porte-clichés remplit une fonction importante. Intégré au stéréorestituteur analytique, il doit être capable de guider de manière rapide et précise les porte-clichés. Le langage de programmation adapté aux fonctions requises se situe au niveau ASSEMBLER. Des mémoires permanentes (ROM) sont prévues pour les micro-programmes. Les variables et les paramètres utilisent des mémoires à accès sélectif (RAM). Le calcul en temps réel de la nouvelle position des porte-clichés ( $x'y'$ ,  $x''y''$ ) est réalisé à une fréquence de 50 cycles par seconde. La vitesse axiale maximum est de 30 mm par seconde. Le flux des informations fonctionne de la manière suivante:

- P2 reçoit les paramètres de transformation de P1,
- P2 maintient l'orientation des porte-clichés en temps réel,
- P2 tient compte des éléments, distortion, réfraction et courbure terrestre,
- P2 reçoit les commandes de déplacement de l'opérateur ou de P1,
- P2 transmet les coordonnées -cliché ou -modèle au micro-ordinateur P1.

Le micro-processeur P3 du pupitre de commande organise le dialogue entre l'opérateur et l'appareil analytique.

- P3 accepte les commandes de l'opérateur à partir d'un clavier numérique et de commutateurs de fonctions,
- P3 affiche les données à l'opérateur à l'aide d'un écran alpha-numérique plat du type "BURROUGHS".
- P3 communique avec le micro-ordinateur P1.

La table de report GP 1 possède sa propre intelligence localisée essentiellement dans le micro-processeur P4. Les programmes d'organisation utilisent le langage ASSEMBLER et les programmes de transformation sont rédigés en FORTRAN.

- P4 reçoit les instructions de la commande manuelle par l'intermédiaire du micro-processeur P6,
- P4 reçoit les coordonnées codées  $X_T$   $X_T$  de P1 et peut transmettre celles-ci à P1,
- P4 détermine les vecteurs pour les servomoteurs par l'intermédiaire du processeur P5 et effectue les différentes transformations pour la représentation graphique des données.

Pour une description plus détaillée des fonctions de P4, P5 et P6, se référer à la communication de P. Zürcher.

Les processeurs qui composent le système sont de deux types:

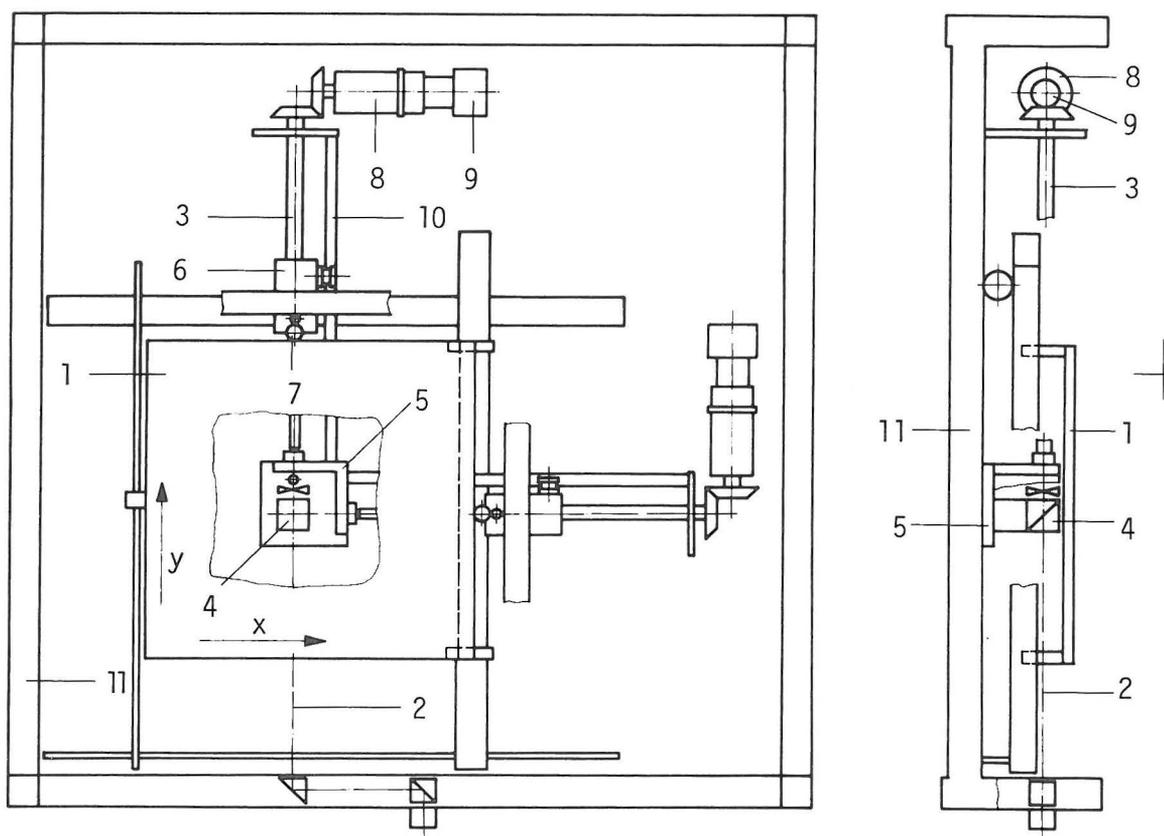
DEC (Digital Equipment) et INTEL. Le micro-ordinateur P1 standard est du type PDP11/03L basé sur un micro-processeur LSI/11-2. Toutes les liaisons entre les processeurs sont standard. Le coupleur avec P2 est un interface de 16 bits en parallèle, par contre le coupleur avec P3 et P4 est de forme RS232C.

Les micro-processeurs P2 et P4 sont des éléments DEC LSI/11-2 équipés de mémoires permanentes (ROM) pour les micro-programmes et de mémoires à accès sélectif (RAM) pour les variables et les paramètres. Les micro-processeurs P3, P5 et P6 sont des unités INTEL 8085.

#### CONSTRUCTION DES PORTE-CLICHES (fig. 2)

Les deux porte-clichés se déplacent dans les directions x et y. Le système d'observation (2) est fixe par rapport au cadre principal (11). La position des tiges filetées de précision (3) qui servent d'éléments de déplacement et

de mesure est fixe par rapport au cadre principal. Les droites formées par le prolongement des axes des tiges filetées se coupent exactement avec la partie verticale du rayon d'observation (4).



- |                          |                         |                     |
|--------------------------|-------------------------|---------------------|
| 1. Porte-cliché          | 5. Cube en coin évidé   | 9. Codeur           |
| 2. Système d'observation | 6. Ecran d'entraînement | 10. Tige de guidage |
| 3. Tige filetée          | 7. Galet                | 11. Cadre principal |
| 4. Prisme séparateur     | 8. Servomoteur          |                     |

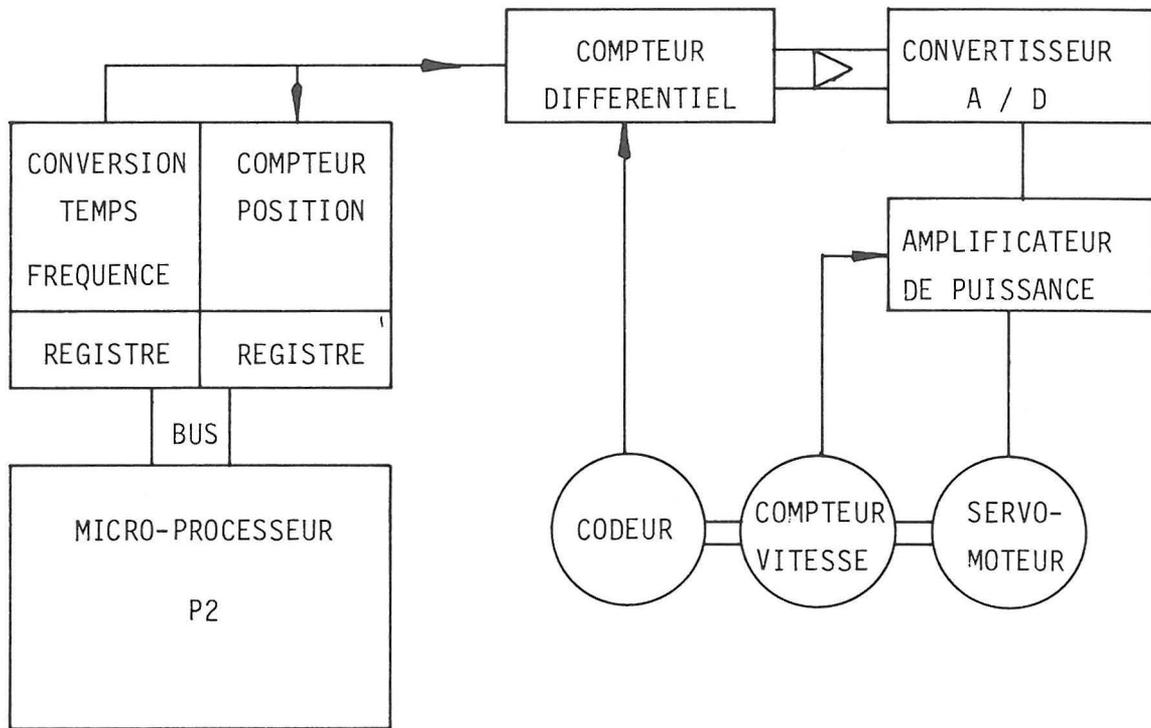
#### Construction des porte-clichés (fig. 2)

Un cube massif évidé en coin (5) contient le dispositif de projection de la marque-repère dans le canal du rayon d'observation et sert également de support au calage axial des deux tiges filetées. Un écran d'entraînement spécial (6) muni d'un disque permet de réaliser les déplacements  $x$  et  $y$ , par l'intermédiaire d'un galet qui se meut sur la face lisse du porte-cliché. Un codeur (9) détermine, en fonction d'une rotation de la tige filetée, la coordonnée image respective avec une précision au micron. Il faut remarquer que cette construction respecte strictement le principe d'Abbe.

#### PRINCIPE DE DEPLACEMENT DES PORTE-CLICHES (fig. 3)

La fig. 3 représente schématiquement le fonctionnement d'un des axes du DSR 1. Le servomoteur, le compteur de vitesse et le codeur sont montés sur un axe commun. Le micro-processeur P2 indique numériquement l'intervalle de temps d'un pas à l'autre. Il reçoit la position exacte du porte-cliché sous

forme numérique par l'intermédiaire du bus de communication. Un interface spécifique transforme les intervalles de temps en fréquence et détermine la position instantanée du servomoteur. Le codeur mesure la position momentanée du système d'entraînement. Cette valeur est comparée à la position désirée à l'aide du compteur différentiel. S'il y a une différence, une tension de rotation est produite et parvient au servomoteur par l'intermédiaire du convertisseur A/D (analogique, digital) et de l'amplificateur de puissance. Le compteur de vitesse contrôle l'accélération et la vitesse finale du servomoteur.



Principe de déplacement des porte-clichés (fig. 3)

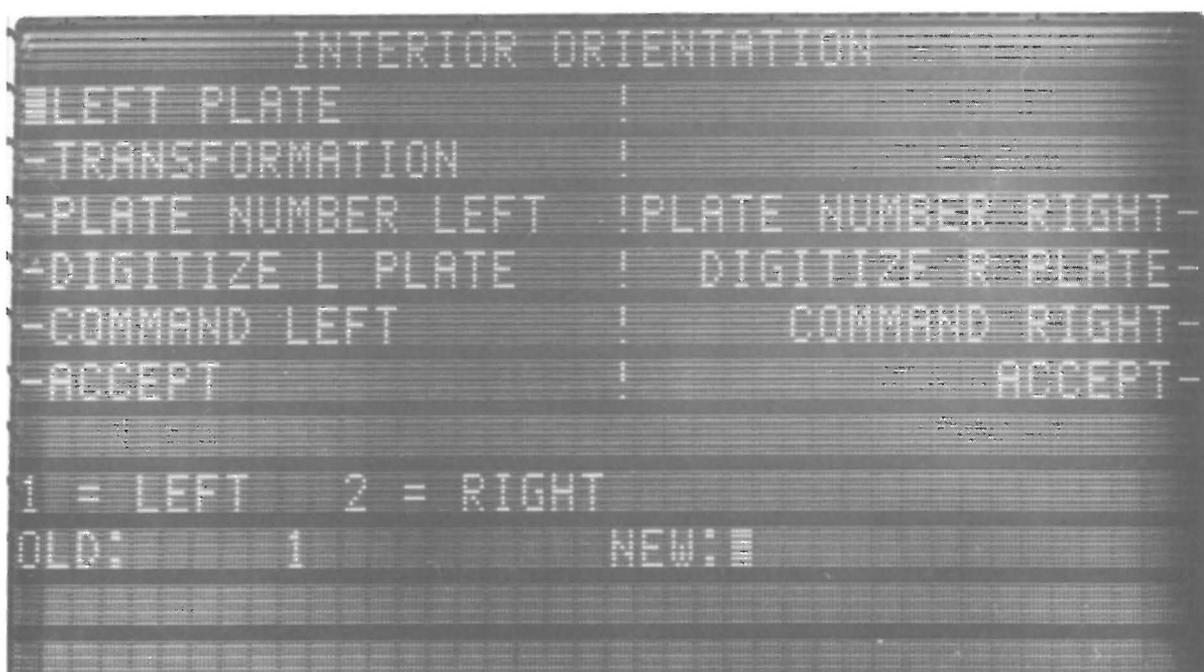
#### MANIABILITE DU RESTITUTEUR ANALYTIQUE

Une attention toute particulière a été vouée au confort de l'opération car c'est un facteur important de productivité. Le système d'observation, les éléments de génération des mouvements XYZ et la disposition du pupitre de commande contribuent à simplifier les conditions de travail.

L'optique d'observation est du type binoculaire et est caractérisée par: un grossissement de 5 à 20 fois, un zoom commun et différentiel, un champ d'observation de 32 mm pour un grossissement de 10 fois, les éléments de correction du strabisme, la rotation commune ou individuelle des images de +360 degrés, la permutation des champs, l'observation binoculaire de l'image droite ou gauche et la marque de repère lumineuse de diamètres différents.

Les commandes du DSRL sont de deux types; les manivelles XY et le disque pour les Z ainsi que la boule à main pour XY et le cylindre pour les Z. Le changement d'un mode opérationnel à l'autre s'effectue pour chaque axe à l'aide de commutateurs. La permutation des axes pour les applications particulières est spécifiée lors de la préparation du modèle. Afin de faciliter l'exploitation du modèle, un dispositif placé à droite du bloc oculaire indique à l'opérateur sa position momentanée.

Les éléments du pupitre de commande permettent un dialogue simple entre l'opérateur et la machine. Un écran alphanumérique plat (12 lignes à 40 caractères) avec 20 touches de sélection et un clavier spécial (valeurs numériques et fonctions particulières) représentent les instruments principaux du travail interactif avec le système. L'écran (fig. 4) est utilisé pour l'affichage et le choix des programmes et des pas qu'ils contiennent.



Ecran du pupitre de commande (fig. 4)

L'une des lignes est réservée à l'indication du paramètre ancien et nouvellement introduit pour un programme considéré. Une autre ligne sert aux commentaires. Les deux lignes inférieures sont destinées à l'affichage des coordonnées cliché, modèle ou terrain. Les paramètres sont introduits directement à partir du clavier spécial. Les touches de sélection disposées parallèlement à droite et à gauche de l'écran permettent de choisir rapidement n'importe quel pas d'un programme désiré. L'écran placé au-dessous du bloc oculaire affiche des signes d'une très bonne lisibilité. L'opérateur est informé rapidement de l'état des opérations à partir de sa position normale de travail. En plus du pupitre de commande, l'opérateur dispose de la console du micro-ordinateur pour lancer le système, créer les fichiers des données qui se modifient rarement et recevoir les résultats des différents programmes.

Le logiciel de base comprend différents programmes. Ces derniers permettent de contrôler le fonctionnement de l'équipement, d'étalonner le mécanisme de déplacement des porte-clichés, de définir la configuration du système, de déterminer les éléments de commande et de former le modèle.

L'étalonnage des porte-clichés est basé sur la mesure de 25 points sur une grille de précision. L'approche des points est automatique. Le programme réalise une transformation affine dont les paramètres sont utilisés pour les opérations futures.

En ce qui concerne l'orientation interne, un fichier est prévu pour cinq chambres de prise de vues. L'opérateur introduit les coordonnées du point principal et des repères de chambre, la distance principale et les valeurs de la distorsion. L'approche des repères est automatique et le nombre de ceux-ci peut varier de 2 à 8. Après la mesure, les résultats sont indiqués sur la console pour le contrôle.

Le programme d'orientation relative offre une grande flexibilité. Le chariotage des 6 points caractéristiques est automatique. L'opérateur peut mesurer jusqu'à 20 points. Un calcul préliminaire permet d'éliminer l'influence du déversement après mesure de la parallaxe des points principaux. On augmente ainsi la rapidité de l'orientation. Le protocole renseigne l'opérateur sur la qualité de l'orientation. L'opérateur a la possibilité soit de procéder à des itérations supplémentaires par calcul, soit de mesurer d'autres points.

Le fichier de l'orientation absolue peut comprendre jusqu'à 20 points de contrôle. L'opérateur pointe manuellement les deux premiers points. Les autres points choisis sont mis en place automatiquement. Après interprétation des erreurs résiduelles, l'opérateur peut toujours éliminer ou rajouter certaines mesures ou points de contrôle.

Le logiciel d'application consiste en un programme utilisé pour la représentation des informations sous forme graphique, à l'aide de la table de report GPL, ou sous forme numérique, pour le traitement en différé. Il règle également les communications avec la station interactive qui peut être couplée au nouveau système. Dans le cadre du programme d'aérotriangulation, on peut intégrer un dispositif de marquage des points au DSRI. Ce dispositif donne la possibilité de restituer les couples sur les appareils analogiques après résolution de l'aérotriangulation sur le DSRI. On a recours à un programme général pour la génération du modèle digital de terrain; dans ce cas, la flexibilité et l'automatisme du stéréorestituteur analytique sont mis pleinement en valeur.

## CONCLUSION

Le système présenté reflète une technologie de pointe dans le domaine de l'automatisation en photogrammétrie. Le concept modulaire et la décentralisation des organes de traitement permettent de trouver la configuration adaptée aux problèmes à résoudre. La table de report GPL pourvue de sa propre intelligence est un instrument idéal pour la représentation graphique en direct ou en différé. L'utilisateur dispose d'un micro-ordinateur complet muni d'un système d'exploitation avancé. Il a la possibilité de développer lui-même certains programmes. La configuration du micro-ordinateur peut subir une extension mais aussi une réduction. Si l'utilisateur désire connecter le

système de stéréorestitution analytique à un ordinateur existant, le micro-ordinateur est réduit à sa plus simple expression et remplit, dans ce cas, la fonction d'interface et de terminal intelligent.

La voie choisie par KERN ouvre de nouvelles perspectives dans le domaine de la photogrammétrie analytique. Le concept adopté a permis de simplifier le logiciel en général et de réduire la partie des interfaces construits spécialement. La solution modulaire offre automatiquement une plus grande flexibilité et l'utilisation de processeurs identiques simplifie le service. Tous ces éléments contribuent à une production encore plus rationnelle.

Auteur:

A. Chapuis, Ing. dipl. EPFZ  
c/o Kern & Cie S.A.  
AARAU (Suisse)

P.-S.:

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce projet, en particulier MM. B. Hauri/H.J. Schneeberger et MM. G. Naumann/R. Boiteux pour la partie optomécanique, MM. U. Rickli et R. Weyermann pour la partie électronique, MM. W. Berner et A. Dalcher pour le software et M. R. Käser, laboratoire d'essais.