

**Zeitschrift:** Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

**Band:** 81 (1983)

**Heft:** 1

**Artikel:** Augmentation de la performance de la photogrammétrie en mensuration cadastrale

**Autor:** Kölbl, O.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-231615>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 13.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

hoffnungsvolle Anfang hat denn auch dazu geführt, dass die erwähnten Richtlinien voraussichtlich noch vor Ende 1982 zusammen mit einer Anleitung für die Identifizierung herausgegeben werden können.

Ein Tarif für die Grenzpunktphotogrammetrie wird 1983 in Kraft gesetzt werden können.

Beide zusammen sollten die erwünschte reibungslose Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten ermöglichen und organisatorische, technische und finanzielle Ungewissheiten beseitigen können.

Die Vermessungsdirektion dankt allen, die durch Inkaufnahme von gewissen Schwierigkeiten bei der Anwendung

der Photogrammetrie dazu beitragen, das Programm 2000 zu realisieren und den guten Ruf der Grundbuchvermessung zu erhalten.

Adresse des Verfassers:  
W. Bregenzer  
Eidg. Vermessungsdirektion  
CH-3003 Bern

## Augmentation de la performance de la photogrammétrie en mensuration cadastrale

O. Kölbl

En partant de l'expérience faite sur le champ d'essai de précision de l'Institut de photogrammétrie, on montre que la photogrammétrie permet actuellement de satisfaire les plus hautes exigences de précision de la mensuration cadastrale. Les conditions les plus importantes pour arriver à une telle précision sont des précautions pour la saisie et la correction des erreurs systématiques du matériel de prise de vues ainsi que des précautions pour l'ajustement optimal du semis des points photogrammétriques sur les bases géodésiques. D'autre part, il devrait être possible de faire des économies considérables lors de la signalisation par un choix approprié du matériel de film. Finalement, on démontre un concept pour la restitution photogrammétrique assistée par ordinateur.

*Ausgehend von der Erfahrung am Präzisionstestfeld des Instituts für Photogrammetrie wird aufgezeigt, dass die Photogrammetrie heute durchaus den höchsten Genauigkeitsanforderungen der Grundbuchvermessung genügen kann. Wichtigste Voraussetzung dafür sind geeignete Vorkehrungen zur Berücksichtigung von systematischen Fehlern des Aufnahmematerials sowie Massnahmen, um das photogrammetrische Punktfeld optimal an die vorgegebene Grundlagenvermessung anzupassen. Weiter sollte es möglich sein, durch geeignete Filmwahl beträchtliche Einsparungen bei der Signalisierung zu erzielen. Schliesslich werden Ansätze zur rechnerunterstützten photogrammetrischen Bildauswertung aufgezeigt.*

### 1. Introduction

Pour les levés topographiques, on a actuellement presque exclusivement recours à la photogrammétrie; il existe évidemment certaines restrictions concernant les zones forestières ainsi que les petites entreprises.

En mensuration cadastrale, par contre, la photogrammétrie est fortement concurrencée par les levés terrestres, dont le rendement et la précision ont été sensiblement améliorés par l'introduction des distancemètres électroniques et des théodolites à enregistrement automatique. L'emploi de moyens de calcul électroniques ainsi qu'une notable amélioration du matériel de prise de vues ont également permis à la photogrammétrie d'augmenter sa performance.

Les précautions les plus importantes pour une augmentation de la performance de la photogrammétrie sont les suivantes:

1. Prise en considération des erreurs systématiques du matériel de prise de vues et de celles de la référence géodésique.
2. Mesure de points et report photogrammétrique assistés par ordinateur.
3. Incorporation de l'information d'image pour la mensuration simplifiée dans les terrains montagneux et pour la rénovation du cadastre.

Dans les chapitres suivants, on montre l'effet de ces différentes précautions sur quelques exemples de projets-pilotes. Ces exemples ont été pris de travaux de l'Institut de photogrammétrie de l'EPF-Lausanne; il s'agit, d'une part, de travaux de recherche effectués en liaison avec l'installation d'un champ d'essai de précision dans la région d'Echallens et, d'autre part, d'expériences faites en collaboration avec le Landesvermessungsamt de Nieder-

sachsen et du National Board of Survey of Finland dans le cadre d'un projet de recherche international placé sous la direction de l'Organisation Européenne d'Etudes Photogrammétriques Expérimentales (OEEPE).

### 2. Précision des mesures photogrammétriques

Il y a quelques années encore, la précision des mesures photogrammétriques était principalement limitée par la précision des stéréorestituteurs. Les restituteurs classiques utilisés en mensuration cadastrale étaient les autographes WILD A7 et A10 ou le KERN PG3. Concernant la géométrie projective, la précision de ces appareils était suffisamment élevée; ils présentaient cependant peu de possibilités pour la prise en considération des erreurs systématiques des prises de vues, résultant par exemple des déformations du film. Lors de la restitution de modèles isolés, ces déformations sont la principale source des parallaxes résiduelles. En mesurant ces parallaxes, on peut en déduire des renseignements sur les déformations du film et sur d'autres erreurs systématiques des prises de vues en général. Il convient ici de remarquer que les déformations de film sont loin d'être complètement aléatoires, et qu'elles se répètent plus ou moins périodiquement d'un cliché à l'autre. Il est évident que ces déformations ne se laissent cerner que de manière assez incomplète dans un seul modèle, alors que, dans une compensation de bloc, on dispose d'une surdétermination suffisante, surtout avec des recouvrements longitudinal et latéral de 60%.

Ces méthodes ont été introduites dans la pratique sous la notion de compensations de blocs par paramètres auxi-

liaires. On sait par expérience que de tels procédés ne peuvent être pris pour modèle sans les précautions nécessaires. Il nous est donc apparu indispensable d'établir un champ d'essai afin

de contrôler et tester par nous-mêmes le matériel de prise de vues et les moyens de restitution habituellement utilisés en Suisse. C'est ainsi qu'au cours des 2 dernières années, l'Institut

de photogrammétrie a implanté dans la région d'Echallens, au nord de Lausanne, un champ d'essai de 3 x 4 km, ce qui correspond à un lot de taille moyenne d'une mensuration cadastrale

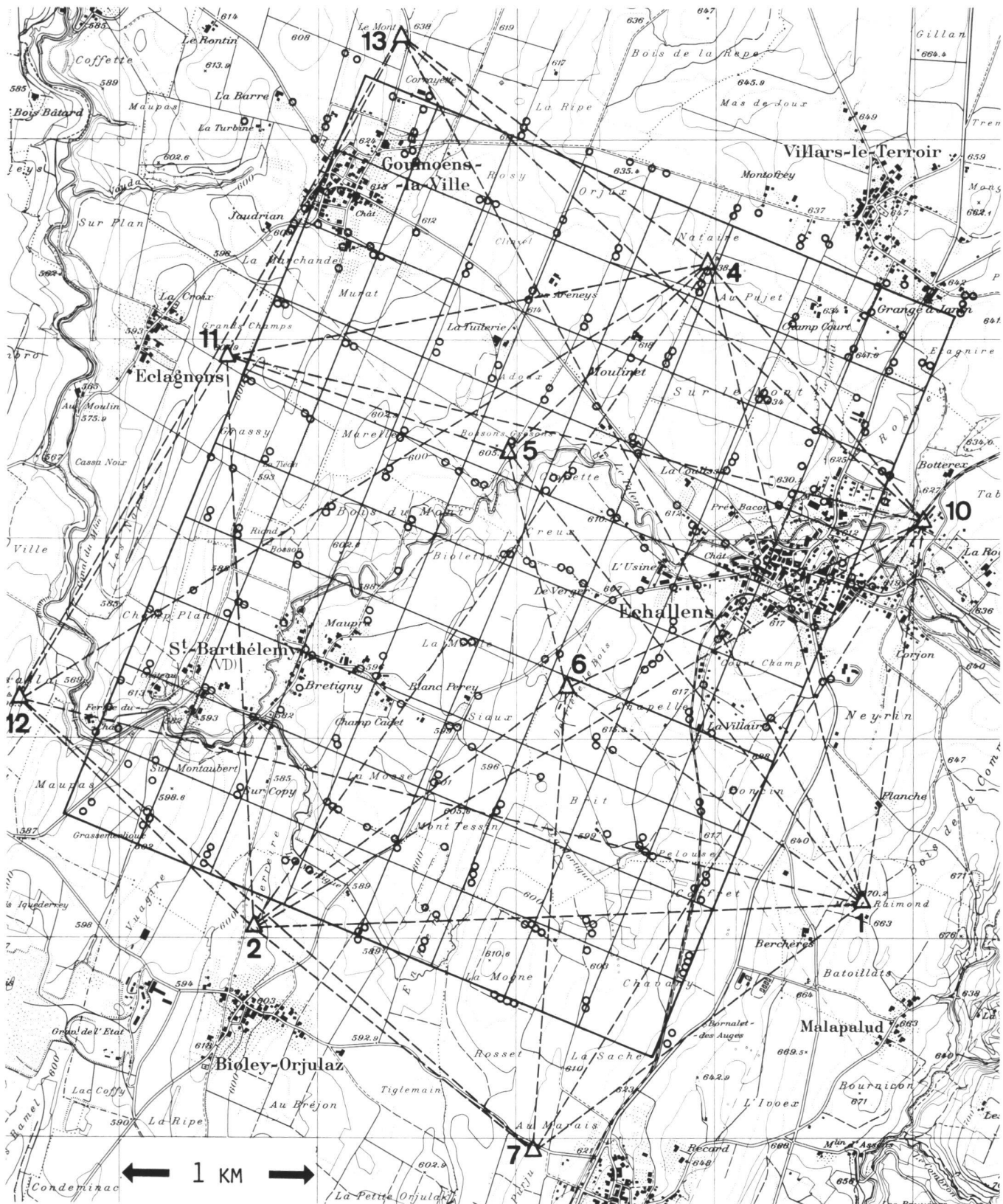


Fig. 1 Aperçu du champ d'essai d'Echallens; tous les points de détail (petits cercles) matérialisés sur le terrain sont représentés ainsi que le réseau de triangulation principal (triangles). Le quadrillage, avec une maille de 400 m, indique la position idéale des points principaux et des points à l'extrémité des modèles du bloc photogrammétrique; une maille correspond ainsi à la moitié d'un modèle photogrammétrique. (Section de la carte nationale 1 : 25 000 reproduite avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 7.12.1982.)

par photogrammétrie (cf. Fig.1). Ce champ d'essai devrait consister en un réseau de points d'ajustage de haute précision fournissant une référence fiable pour l'analyse des mesures photogrammétriques. A notre connaissance, les mesures photogrammétriques les plus précises proviennent du champ d'essai de Jämijärvi en Finlande, avec une précision planimétrique de  $\pm 6$  mm pour une échelle des clichés de 1:3000 (cf. entre autres [1]). Pour la détermination géodésique des points du champ d'essai d'Echallens, il est ainsi apparu nécessaire d'exiger une précision d'environ  $\pm 3$  mm, ce qui pose de sérieux problèmes. D'autre part, il est essentiel de prendre des précautions particulières pour la matérialisation des points.

Le champ d'essai est conçu pour un bloc photogrammétrique de 4 bandes de 10 modèles chacune avec recouvrement latéral de 30% ou pour 7 bandes avec recouvrement de 60%. Nous nous sommes efforcés de déterminer, par

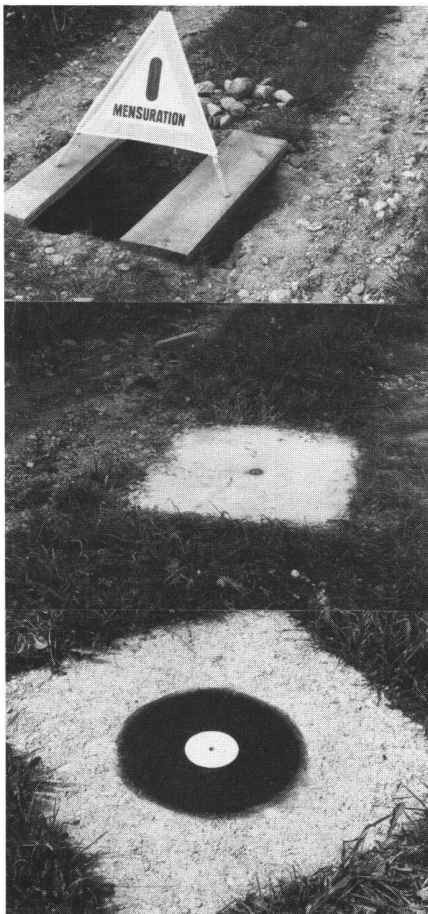


Fig.2 Afin de garantir une stabilité des points dans l'ordre des millimètres, les points fixes ont été matérialisés dans le terrain ouvert par des blocs de béton d'une taille de 80x80x80 cm. Le point de mesure propre est fixé par une cheville. Pour la signalisation, on a eu recours à des couleurs, le centrage a été assuré par des chablon.

Bloc	Nombre de clichés	Nombre de points par cliché	Erreurs résiduelles									Précaution pour la saisie des erreurs systématiques
			en $\mu\text{m}$			en $\mu\text{m}$				en cm		
			Ecart-type de compensation	Erreurs résiduelles dans les clichés pour points d'ajustage		Erreurs résiduelles pour points de liaison		Erreurs résiduelles pour points d'ajustage sur le terrain				
$\sigma_0$	X	Y	X	Y	X	Y	Z					
3	77	30	4.7	4.9	4.2	3.8	3.6	1.5	1.7	2.3	---	
3 P	77	30	3.5	3.3	3.3	2.9	2.9	1.2	1.0	1.9	10 paramètres auxiliaires	
3 S	77	30	3.6	3.4	3.3	3.0	2.9	1.2	1.1	2.0	Spline appuyé sur 25 points	
4	44	22	4.9	4.5	4.8	3.1	3.5	2.2	1.4	3.5	---	
4 P	44	22	3.8	3.6	3.5	2.3	2.6	1.2	1.1	2.9	8 paramètres auxiliaires	
4 S	44	22	3.8	3.6	3.5	2.4	2.6	1.2	1.1	2.8	Spline appuyé sur 25 points	
7.1	77	28	3.3	3.3	3.1	2.4	2.5	0.9	0.9	2.0	---	
7.1 P	77	28	2.8	2.8	2.6	2.2	2.3	0.8	0.8	1.4	10 paramètres auxiliaires	
7.1 S	77	28	2.8	2.8	2.6	2.2	2.3	0.8	0.8	1.4	Spline appuyé sur 25 points	
7.1 + 7.6	77 + 80	28 / 13	4.3	4.1	3.9	3.5	3.5	0.7	0.8	1.7	---	
7.1 + 7.6 P	77 + 80	28 / 13	2.8	2.6	2.6	2.3	2.4	0.5	0.5	1.3	24 paramètres auxiliaires	
7.1 + 7.6 S	77 + 80	28 / 13	3.0	2.7	2.7	2.4	2.5	0.5	0.5	1.5	Spline appuyé sur 25 points	
7.1 I	66 modèles	22 par modèle	4.2	4.4	3.8	3.8	2.3	1.3	1.3	3.0	Compensation par modèles indépendants	

Tableau Aperçu sur les résultats de la compensation de bloc du champ d'essai d'Echallens. Les prises de vues des blocs 3 et 4 datent de 1981; pour la signalisation, on a utilisé des cercles d'un diamètre de 12 cm. Pour les blocs 7.1 et 7.6, les prises de vues datent de 1982 et les signaux avaient un diamètre de 18 cm. Echelle des clichés 1:5500, sauf pour les vues 7.6 qui sont à l'échelle 1:3000. Le bloc 7.1 + 7.6 est un bloc combiné avec des prises de vues d'échelles différentes. Pour la compensation de bloc, on disposait en moyenne de 250 points d'ajustage et de 100 points nouveaux.

mesures géodésiques, tous les points de liaison entre les modèles (2-3 points au voisinage des points principaux ainsi que dans les angles des modèles, resp. des clichés). La partie nord du champ d'essai se situant dans une zone ayant fait l'objet d'un remaniement parcellaire, la plupart des points géodésiques ont pu y être matérialisés par des chevilles scellées dans le béton ou l'asphalte des chemins agricoles. Par contre, dans la partie sud, il y a peu de chemins en dur et un grand nombre de points ont été matérialisés par des blocs de béton de dimensions 80x80x80 cm (cf. Fig. 2). Il s'est avéré que d'autres formes de matérialisation, comme les bornes en granit ou les bornes en plastique, n'assurent pas la stabilité nécessaire et se prêtent moins bien pour une signalisation photogrammétrique particulièrement soignée.

### 2.1 Géodésie du champ d'essai

La détermination géodésique des points a été réalisée, indépendamment de la triangulation officielle, par triangulation et trilatération. Un réseau principal de 10 points couvrant l'ensemble du champ d'essai a été établi (cf. Fig.1). Les directions ont été mesurées avec

un théodolite WILD T3 et les distances avec les Distomat WILD DI20 et DI4L et le Géodimètre AGA 14. Il résulte de la compensation libre de ce réseau des ellipses d'erreur inférieures à  $\pm 1,5$  mm. Evidemment, les ellipses d'erreur donnent une mesure de précision qui ne prend pas en considération les erreurs systématiques des mesures géodésiques. Une répétition des mesures de distances du grand réseau 9 mois plus tard a révélé des changements des coordonnées dépassant 2 à 3 fois l'écart-type donné par les ellipses d'erreur. Un rapport plus détaillé sur les mesures du réseau principal est actuellement en préparation et devrait être publié dans un prochain numéro de cette revue.

Les points de détail (environ 250) ont été mesurés dans un réseau de triangulation secondaire rattaché au réseau principal. Pour ces points, l'ellipse d'erreur ne dépasse 2 mm que dans moins de 10% des cas. Les altitudes de tous ces points ont été déterminées par nivellement géométrique. Ces mesures ont été effectuées en grande partie par l'Institut de photogrammétrie, en étroite collaboration avec l'Institut de géodésie et mensuration de l'EPF-Lausanne. Les

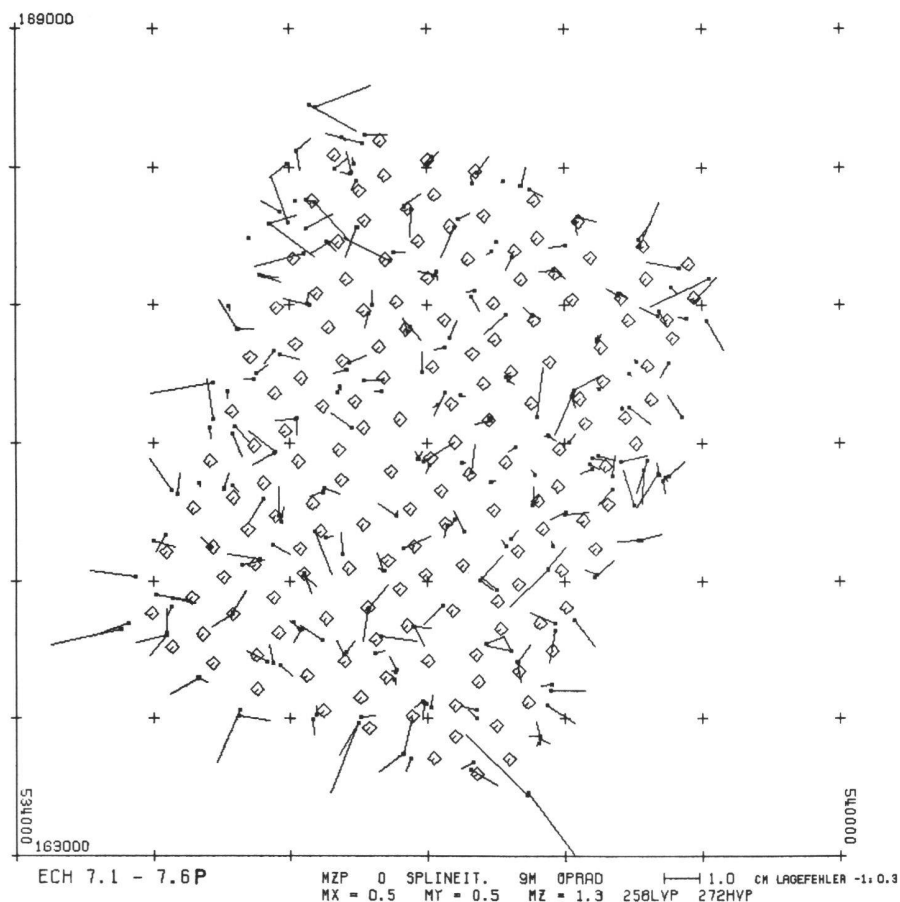


Fig.3 Erreurs résiduelles après compensation de bloc par faisceaux en utilisant 9 paramètres auxiliaires. Il s'agit d'un bloc combiné utilisant des photographies aériennes à l'échelle 1:5000 avec recouvrements longitudinal et latéral de 60% et des photographies à l'échelle 1:3000 avec recouvrements de 30% (cf. le tableau, bloc 7.1+7.6P).

maisons KERN et WILD ont bien voulu participer aussi à ces travaux, par des campagnes qui ont duré respectivement 3 et 6 semaines.

## 2.2 Prises de vues aériennes

Les prises de vues ont été obligamment effectuées par la Direction fédérale des mensurations cadastrales. Pour l'analyse métrique des prises de vues, nous disposons actuellement de 2 séries de clichés: un vol réalisé au printemps 1981, pour lequel le diamètre des signaux a été arrêté à 12 cm et un deuxième vol effectué au printemps dernier avec des signaux de 18 cm. Le champ d'essai a été conçu pour une échelle de prises de vues de 1:5000, fixée par la distance entre les points de liaison. Pour le second vol, une 2<sup>e</sup> chambre de prises de vues a été utilisée simultanément avec un objectif de focale deux fois plus grande. Ainsi, un objectif grand-angulaire était utilisé pour la chambre principale tandis que la deuxième était équipée d'un objectif normal fournissant des vues à l'échelle 1:3000. Il en résulte ainsi un bloc de prises de vues avec un recouvrement de 70% pour la chambre grand-angu-

laire et avec un recouvrement de 30% pour la chambre à objectif normal; ces dernières prises de vues ne permettent pas une observation stéréoscopique de leur partie centrale.

## 2.3 Compensation de bloc par faisceaux

Le tableau donne un aperçu de la précision obtenue pour différentes compensations de blocs. Le meilleur résultat avec  $\pm 5$  mm d'écart-type en planimétrie sur les points d'ajustage a été obtenu avec un bloc de prises de vues combinées grand-angulaire et angle normal du vol de l'année dernière (cf. Fig. 3). Pour le bloc grand-angulaire seul, il résultait un écart-type de  $\pm 8$  mm sur les points d'ajustage. Le bloc correspondant de l'année précédente avec des signaux de 12 cm de diamètre seulement, donnait une précision planimétrique de  $\pm 1,1$  cm. Cette différence de précision d'environ 25% est essentiellement due à une moins bonne reproduction photographique des signaux sur les prises de vues de 1981 (cf. également chapitre 4). La compensation de bloc et les calculs annexes ont été effectués par un

système de programmes qui nous a été obligamment transmis par l'Institut de photogrammétrie de l'Université de Hanovre. Il s'agit d'un programme de compensation par faisceaux, c'est-à-dire que les mesures sur clichés sont immédiatement introduites comme observations et non les coordonnées-modèles. Les déformations d'image ont été prises en considération soit par l'intermédiaire de paramètres auxiliaires soit par des fonctions de Spline. On suppose ainsi que tous les clichés d'un bloc pris par la même chambre montrent les mêmes déformations de film. Par conséquent, le nombre de paramètres auxiliaires ne réduit pas le nombre de surdéterminations de manière significative.

## 2.4 Compensation de bloc par modèles indépendants

En Suisse, la compensation de bloc avec prise en considération des déformations systématiques de l'image a rarement été utilisée. Il nous a ainsi semblé intéressant de comparer cette méthode avec la compensation par modèles indépendants. Pour ce faire, nous avons utilisé les coordonnées-clichés mesurées sur 2 photos successives afin de calculer analytiquement les coordonnées-modèle. La liaison des modèles s'effectue dans le cadre de la compensation de bloc. Le programme de calcul nécessaire a été développé à

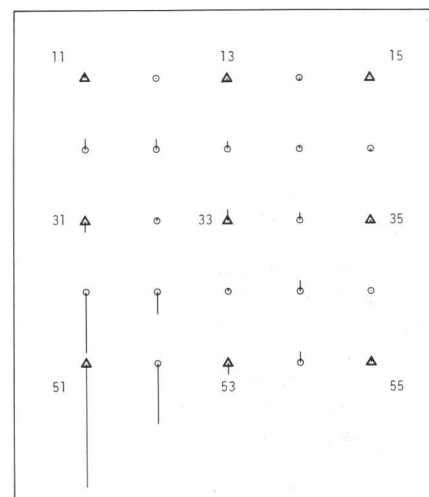


Fig.4 Etude de répartition des erreurs selon interpolation par moindres carrés pour un cas extrême. Les 9 points 11 à 55 (marqués par un triangle) sont considérés comme points d'appui, mais seul le point 51 présente une erreur systématique en Y; les autres points n'ont pas d'erreurs. Les points marqués avec un cercle sont à transformer. En choisissant les paramètres de transformation afin que le point 33 soit encore influencé par le 51, on obtient des corrections en sens inverse pour les points de l'autre côté du point central.

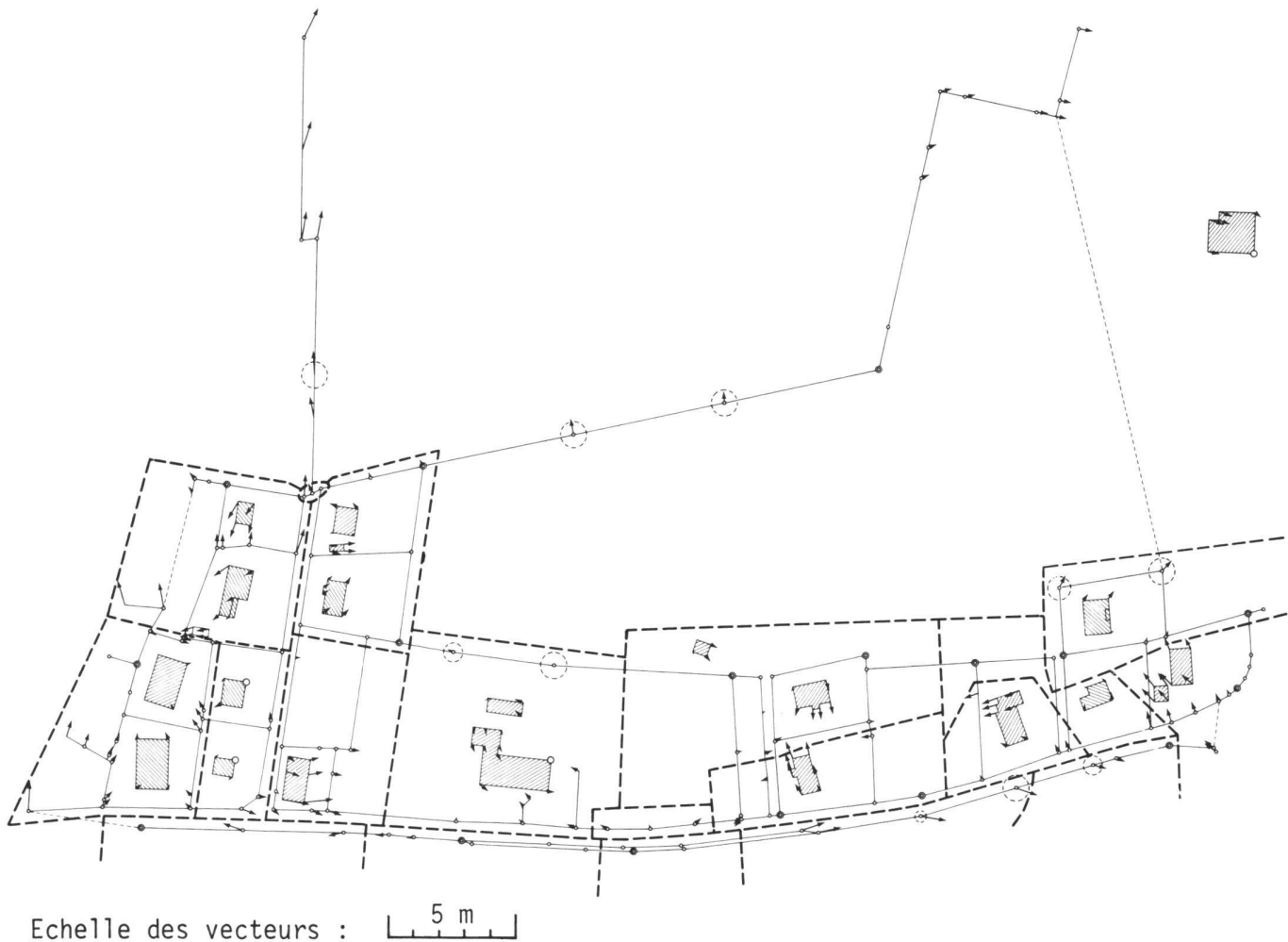


Fig. 5 Différences entre une interpolation par moindres carrés et une transformation par zones d'une section d'un plan cadastral. Les points d'ajustage sont indiqués par des doubles cercles; les lignes traitillées indiquent les limites des zones de transformation. On remarque que les différences (indiquées par des flèches) ont la même grandeur que l'écart-type à craindre pour un point transformé selon la méthode d'interpolation par moindres carrés (cf. cercle traitillé) tandis que l'écart-type pour la transformation par zones s'avère environ 4 fois plus petit.

l'Institut de photogrammétrie. Comme on s'y attendait, la compensation de bloc par modèles indépendants a donné des erreurs résiduelles plus élevées que la compensation par faisceaux: les écarts planimétriques sur les points d'ajustage sont en moyenne de  $\pm 1,3$  cm alors qu'ils sont de  $\pm 8$  mm avec la compensation par faisceaux. La perte de précision est donc de l'ordre de 50% avec le même matériel photographique et les mêmes mesures. Dans tous les cas considérés, les mesures ont été effectuées au monocomparateur KERN MK2 directement sur les négatifs. Comme nous ne disposons pas d'un restituteur analogique avec une marque-repère appropriée, il ne nous a pas paru opportun d'effectuer des mesures de comparaison sur ce type d'appareil. L'autographe WILD A10 ne dispose que d'un index noir de  $40\ \mu\text{m}$ ; les signaux sur les négatifs sont également noirs et ont un

diamètre de  $30\ \mu\text{m}$ , ainsi le repère recouvre complètement les signaux. Même pour des signaux plus grands, le contraste entre l'index noir et les signaux sur les négatifs est minime et des pointés de haute précision sont difficiles à réaliser.

### 3. Ajustage optimal des mesures photogrammétriques au réseau géodésique

Les résultats des mesures photogrammétriques obtenus avec le champ d'essai d'Echallens sont d'une excellente qualité. Même si toutes les autres conditions sont remplies, il n'est pas possible d'obtenir une telle qualité si la précision des bases géodésiques n'est pas d'un niveau correspondant. Dans la pratique, il serait irréaliste d'exiger de la référence géodésique une précision de l'ordre du millimètre. Il est plutôt nécessaire d'appliquer des algorithmes de calcul appropriés afin d'adapter de

manière optimale les données photogrammétriques au réseau géodésique. Sous cet aspect la photogrammétrie ne se distingue pas des méthodes de mesure terrestres, car il est aussi possible de détecter des contradictions relativement importantes dans un réseau de triangulation lors de travaux de polygonation ou de levé de détail. En mensuration cadastrale, on dispose de prescriptions bien définies quant aux écarts admissibles et à leur mode de répartition. Comme exemple typique d'un tel procédé, citons les tolérances pour la polygonation et les règles relatives à la répartition des écarts de fermeture. Ce procédé peut être reconstitué ultérieurement avec des moyens relativement simples et on assure ainsi que des mesures pour la conservation peuvent être incorporées sans contradictions majeures. Il serait logique de procéder de façon similaire avec des mesures photogrammétriques

après une compensation de bloc. Par le passé, on a recouru à plusieurs reprises à un programme de calcul (QUINT) développé par le Prof. Kraus, Vienne, permettant d'effectuer une interpolation selon la méthode des moindres carrés (cf. [2]). Cette méthode permet de réduire de manière presque illimitée les contradictions sur les points d'ajustage; la déformation du semis des points y relatif est cependant difficile à reconstruire. Il faut notamment remarquer que les résultats de la transformation ne sont pas linéaires et que les écarts entre deux points d'ajustage juxtaposés ne sont pas répartis proportionnellement à la distance (cf. Fig.4). Par contre, dans la compensation des polygonales, l'erreur de fermeture est répartie proportionnellement à la longueur des côtés. Par analogie, il serait logique d'utiliser pour le traitement des données d'une compensation de bloc une méthode de transformation par zones qui soit linéaire. Les limites des zones sont en principe données par les limites de la zone de levé d'une polygonale. Lors des mesures de conservation, on devrait évidemment prendre en considération les corrections d'échelle résultantes.

Une analyse comparative entre une interpolation selon la méthode des moindres carrés et une transformation de Helmert par zones a été réalisée à l'Institut de photogrammétrie lors d'essais dans le domaine de la rénovation cadastrale (cf. [3]). Dans le cadre de ce travail, une feuille cadastrale avec une mensuration graphique reconnue provisoirement a été digitalisée et les coordonnées transformées dans le système national. Les coordonnées nationales des points identiques ont été déterminées à l'aide de la photogrammétrie. On disposait au total de 52 points d'ajustage. Une première transformation de Helmert donnait des écarts maximums de 1,2 m. Pour la transformation par zones, 19 zones au total ont été formées. Dans chaque zone on disposait, à part les points de liaison, de 3-5 points d'ajustage entre les zones individuelles (cf. Fig. 5). Après la transformation par zones, on obtenait un écart sur les points d'ajustage de  $\pm 10$  cm en moyenne. Pour l'interpolation selon la méthode des moindres carrés, 23 points ont été utilisés comme points d'ajustage et 23 autres servaient de points de contrôle. Les écarts obtenus sur les points de contrôle étaient en moyenne de  $\pm 40$  cm. Ces écarts, relativement élevés, correspondent tout à fait aux estimations de l'erreur à craindre après la transformation. On obtient ainsi la confirmation qu'une interpolation selon la méthode des moindres carrés ne devrait pas être appliquée si la composante systéma-

tique de l'erreur résiduelle dépasse la composante aléatoire d'un facteur 2 à 3, ce qui correspond à ce qui est généralement spécifié dans la littérature spécialisée.

#### 4. Augmentation de la qualité d'image

En ce qui concerne les prises de vues, la précision des mesures photogrammétriques est essentiellement limitée par deux facteurs: la stabilité métrique du matériel de prise de vues et la qualité optique et photographique de l'image. Au chapitre 2, on a démontré par un exemple concret qu'une trop petite dimension des signaux réduit sensiblement la précision des pointés et, par la suite, la précision de la compensation de bloc. Afin de mettre en évidence cette étroite relation entre qualité d'image et précision des mesures, des agrandissements microscopiques de différents points signalisés sont reproduits à la figure 6. Toutes ces photos ont été prises sur des négatifs,

c'est pourquoi les signaux apparaissent foncés sur fond clair. Les forts agrandissements ont été faits au microscope avec une mise au point floue afin d'éviter que le contenu de l'image ne soit supplanté par le grain. Les agrandissements de gauche reproduisent plus ou moins l'aspect qui se présente à l'opérateur lors des mesures sur des négatifs dans un stéréorestituteur ou un comparateur avec un agrandissement optique d'environ 20 fois.

Les agrandissements microscopiques mettent en évidence le fait qu'une précision de pointé de quelques microns n'est pas toujours assurée. Le cas est encore plus critique si cette imprécision du pointé est liée à une erreur systématique, ce qui peut se produire si le centre supposé du signal est déplacé en raison des effets de voisinage. Ce phénomène peut être observé entre autres si les signaux sont situés près d'un bord de route (cf. Fig. 6) ou si les traits de repérage sont trop près des signaux.

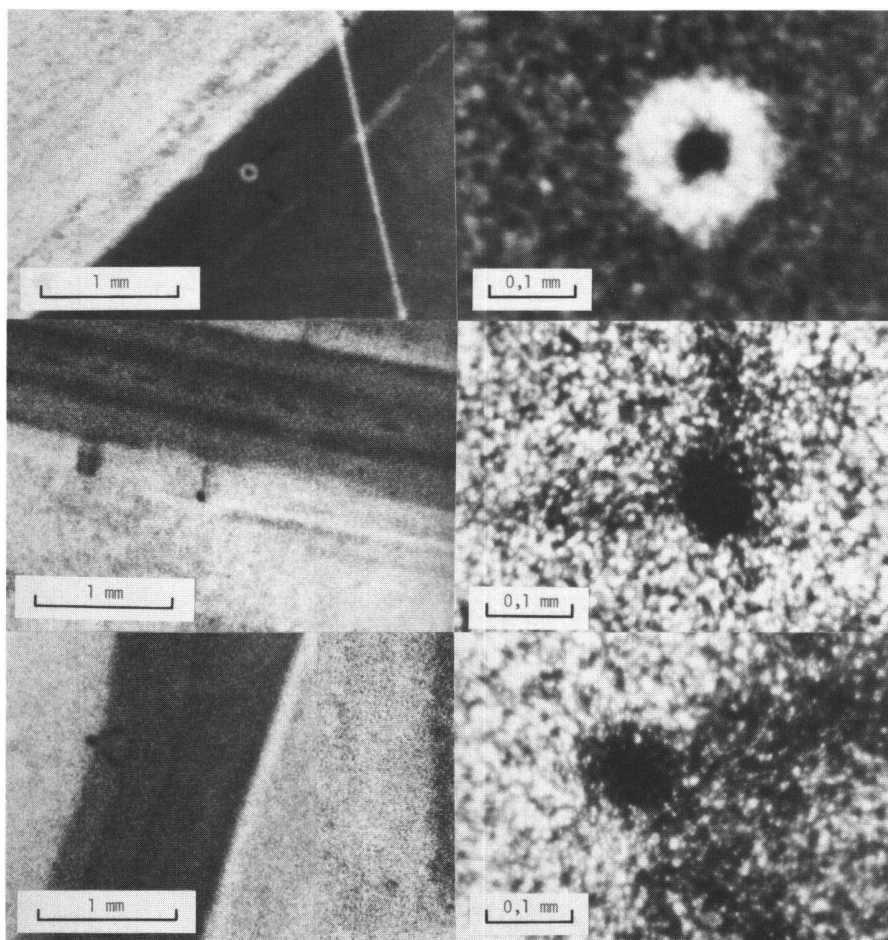


Fig.6 Micro-agrandissements des points signalisés sur des photographies aériennes. La photographie de gauche correspond à l'aspect qui se présente à l'opérateur lors de l'observation dans un stéréorestituteur; la photographie de droite est six fois plus fortement agrandie, afin de mettre mieux en évidence les défauts des prises de vues. Tous les signaux montrent des défauts qui provoquent des erreurs systématiques plus ou moins grandes. En haut: défauts de la couche sensible; au milieu: les bandes d'indication sont trop près du signal; en bas: le signal est trop près du bord de la route.

La photogrammétrie se trouve ici devant un certain dilemme. Les frais pour la signalisation sont relativement élevés et peuvent atteindre 20–25% du coût total d'une mensuration cadastrale effectuée par photogrammétrie, selon différentes expériences effectuées en Allemagne (cf. [4]). Afin d'augmenter le rendement de la photogrammétrie on devrait veiller à réduire les travaux sur le terrain, et il est particulièrement souhaitable de limiter la signalisation à la peinture des têtes des bornes. Cependant, avec une qualité d'image courante, il serait alors nécessaire d'utiliser une échelle des clichés de 1:3000, ou même plus grande. Des expériences ont été faites avec de telles échelles, notamment en Allemagne du Nord. De telles échelles de clichés ne sont cependant utiles que si la zone à traiter présente une densité de points extrêmement élevée, de manière à disposer entre les prises de vues individuelles d'un nombre de points de liaison suffisamment dense, ce qui signifie qu'il faut des points signalisés

au moins tous les 200–300 m, dans des positions bien précises. Par contre, en terrain montagneux les points signalisés sont souvent beaucoup plus espacés, raison pour laquelle on est contraint de recourir à des échelles plus petites. La précision des mesures photogrammétriques permet l'utilisation d'échelles de clichés allant de 1:7000 à 1:12 000, au moins pour les degrés de précision 3 et 4. Afin de sortir de cette impasse, on pourrait utiliser des films de plus haute résolution ou couvrir la zone de travail par 2 chambres avec des distances focales différentes, comme effectué sur le champ d'essai d'Echallens (cf. chapitre 2). A la suite d'expériences réalisées dans le cadre de l'OEEPE (Organisation européenne d'études photogrammétriques expérimentales) et auxquelles nous avons collaboré, on a pu constater que le film Kodak Panatomic-X, disponible depuis peu de temps également pour des restitutions métriques, possède un pouvoir de résolution beaucoup plus élevé que les films utilisés actuellement, tels

que Kodak Double-X et Plus-X. La figure 7 montre un même groupe de signaux sur 3 vues différentes à l'échelle 1:3000 prises avec les films Panatomic-X, Plus-X et Double-X; ces photos ont été prises avec un objectif de 30 cm. Nous avons prévu de poursuivre ces investigations afin d'étudier l'utilisation du film Panatomic-X pour la mensuration cadastrale.

### 5. Mesures photogrammétriques assistées par ordinateur

Les considérations précédentes ont montré que la précision photogrammétrique peut être considérablement améliorée en prenant des précautions particulières, notamment en augmentant le recouvrement. Cependant, toute augmentation du recouvrement provoque également une augmentation du nombre de photographies et du nombre d'opérations de mesure, ce qui pourrait affecter la rentabilité de la photogrammétrie. Ces craintes sont justifiées aussi longtemps que l'on fait usage des procédés classiques de restitution basés sur les restituteurs analogiques. Les mesures sur un comparateur ou un restituteur analytique demandent sensiblement moins de temps; en outre, la recherche des points de mesure peut être considérablement facilitée par l'appui d'un ordinateur. L'exemple classique d'un travail assisté par ordinateur dans le domaine de la restitution des prises de vues est sans aucun doute réalisé par le restituteur analytique.

A l'Institut de photogrammétrie, les efforts ont été concentrés jusqu'à maintenant dans une autre direction et l'on a surtout étudié les avantages qui résultent de la liaison d'un restituteur analogique avec un écran graphique. Un profane pourrait être étonné par de telles préoccupations, mais il ne faut pas oublier que l'utilisation conjointe de cartes et de photographies aériennes n'a pas pu être réalisée de manière satisfaisante jusqu'à ce jour. Les conditions optimales pour la saisie de l'information contenue sur une prise de vue sont données par l'observation stéréoscopique. L'expérience a montré que les prises de vues aériennes peuvent être agrandies jusqu'à 15–20 fois, afin de détecter encore de petits détails ou assurer une haute précision des mesures. Ce mode de travail demande cependant un dispositif optique assez important et l'opérateur n'a plus la possibilité de faire des annotations sur les photographies elles-mêmes. Ainsi, il est difficile de se rendre compte de l'avancement du travail de restitution ou de comparer un document déjà existant avec les photographies aériennes, comme cela est nécessaire pour la

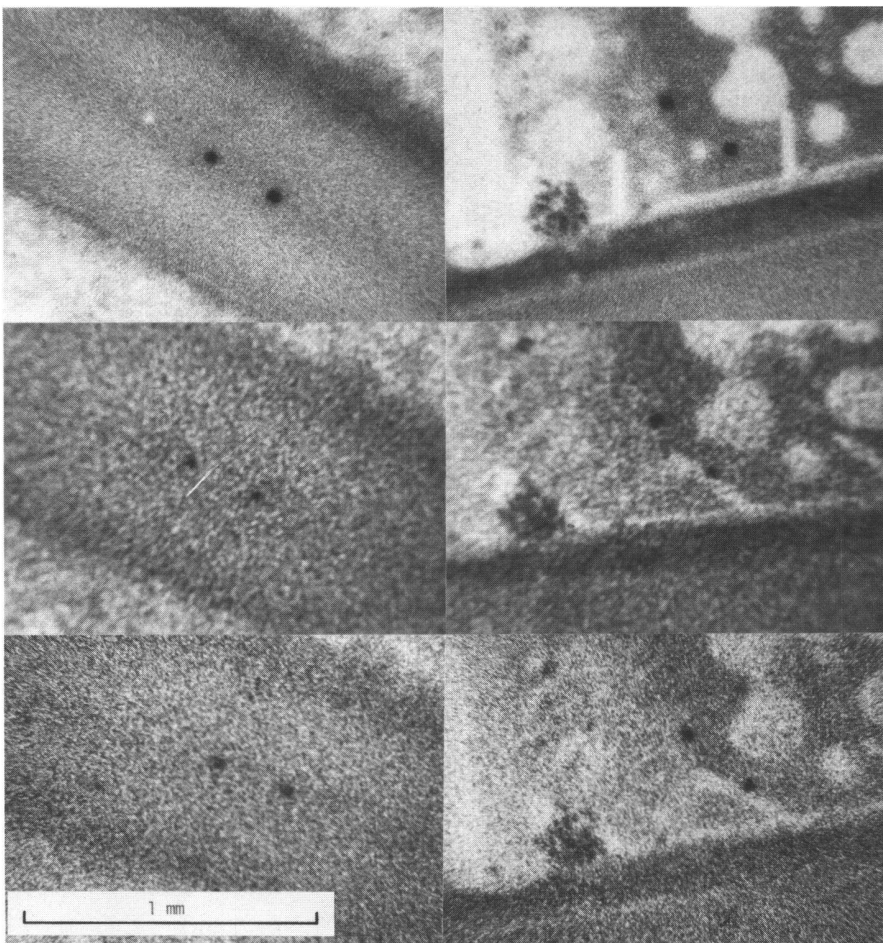


Fig. 7 Comparaison de la qualité de reproduction de groupes de signaux sur différents films aériens: en haut Kodak Panatomic-X, au milieu Kodak Plus-X et en bas Kodak Double-X. Différentes couleurs ont été utilisées pour la signalisation des groupes de points: blanc, rouge fluorescent, jaune et noir (prises de vues aimablement mises à disposition par M. W. Brindöpke, Landesvermessungsamt Niedersachsen).



mise à jour des cartes. Dans un stéréorestituteur, c'est un seul point, la marque-repère du restituteur, qui sert de référence entre la carte sur la table à dessin et les prises de vues observées dans l'appareil. De ce point de vue, une amélioration sensible du rendement de la restitution ne peut être obtenue que si le contenu d'un plan ou d'autres informations géographiques sont directement superposés aux prises de vues dans les oculaires. En photogrammétrie classique, nombre d'appareils et d'essais ont eu recours à ce principe, comme par exemple la chambre claire de la Maison Zeiss, le Sketchmaster de

n'est pratiquement pas affecté si la carte est affichée sur l'écran avec des lignes claires sur fond noir. L'Institut de photogrammétrie a réalisé dans ce domaine un certain nombre d'expériences de base à l'aide d'un ordinateur de table (Hewlett-Packard HP 9845B) connecté à un stéréorestituteur KERN PG 2 (cf. Fig. 8).

Ainsi, il s'est avéré que la résolution d'un écran graphique de 500-600 points par ligne est tout à fait suffisante si on se limite à afficher la section de la carte qui correspond à celle observée dans les oculaires. La luminosité et la richesse des détails de l'image super-

## 6. Conclusions

De nombreux aspects ont été passés en revue dans les chapitres précédents, lesquels devraient aboutir à une augmentation de la précision et du rendement de la photogrammétrie. La présentation se base essentiellement sur des expériences réalisées à l'Institut de photogrammétrie de l'EPFL-Lausanne. Cela peut entraîner une certaine subjectivité, mais il est dangereux de démontrer des perspectives sans s'appuyer sur des expériences bien fondées. Malgré ces limitations, le lecteur peut se rendre compte que de nouvelles perspectives s'ouvrent actuellement pour la photogrammétrie en ce qui concerne la mensuration cadastrale, perspectives qui n'existaient pas il y a peu d'années encore. Cette présentation a été relativement peu axée sur les instruments photogrammétriques utilisés actuellement dans la pratique en Suisse. Cependant, il nous a semblé important de montrer tout d'abord les possibilités effectives pour une augmentation de la performance et de n'essayer que dans une deuxième phase de prendre en considération l'équipement actuel des bureaux privés. Les réflexions ont été consciemment limitées à la détermination des points, aspects typiques de la mensuration cadastrale. Ce mode de travail n'utilise qu'une très petite partie de l'information d'image d'une prise de vue. D'autre part, l'utilisation des orthophotos pour la vérification de la mensuration cadastrale, méthode utilisée actuellement aux Grisons, recourt beaucoup plus à l'information de l'image. Ce contenu d'information de l'image pourrait être utilisé encore bien davantage dans différents domaines de la mensuration cadastrale, comme la mensuration parcellaire simplifiée ou la rénovation cadastrale.



Fig. 8 Superposition des photographies aériennes vues dans les oculaires d'un stéréorestituteur (Kern PG2) avec l'image affichée sur écran graphique (Hewlett-Packard 9845B). Cette superposition a été réalisée à l'aide d'un miroir semi-argenté et d'un objectif monté à côté des oculaires (cf. flèche).

Hillger and Watts, le Zoom Transfert-scope de Bausch & Lomb ou le Double-projecteur de Zeiss... Pour tous ces appareils, la qualité optique est sensiblement dégradée par cette superposition; cet effet se produit parce que le fond clair d'une carte réduit sensiblement le contraste des photographies aériennes. Il est aussi gênant que la superposition se limite, en général, à des zones relativement petites en raison des différences entre la géométrie de la carte et celle des photographies aériennes.

Une bonne partie de ces difficultés peuvent être évitées si un affichage sur écran graphique est utilisé pour cette superposition. Le recours à des données digitales facilite sensiblement les transformations géométriques et le contraste des photographies aériennes

posée sont également satisfaisantes. Certains problèmes sont apparus, en raison de la vitesse insuffisante de l'ordinateur, parce qu'il n'était pas possible de faire suivre la section de la carte affichée sur l'écran avec la même rapidité que l'image se déplace dans les oculaires du stéréorestituteur lors de l'exploitation du modèle photogrammétrique.

Comme déjà indiqué, les expériences ont été faites jusqu'à présent à l'aide d'une calculatrice de table acquise en 1979, dont le prix d'achat s'élevait à 60 000 fr. Actuellement, presque pour le même prix, on peut obtenir une station de travail graphique avec une performance sensiblement plus élevée qui, selon des expériences préliminaires, devrait satisfaire aux exigences d'un tel mode de travail.

### Bibliographie

- [1] Jacobsen K.: Attempt at obtaining the best possible accuracy in bundle block adjustment. Archives internationales de photogrammétrie, vol. XXIII, tome B3, Hambourg 1980, p. 304-313.
- [2] Kraus K.: Interpolation nach kleinsten Quadraten und ihre Anwendung im Bereich der Katastererneuerung. Publ. no 17 de l'Institut de géodésie et mensuration et de l'Institut de photogrammétrie de l'EPFL, Lausanne 1980, p. 82-95.
- [3] Cattin P.-H.: Faisabilité et analyse de la précision d'une rénovation du cadastre à l'aide de la photogrammétrie. Travail de diplôme, Institut de photogrammétrie de l'EPFL, Lausanne 1980.
- [4] Schwidofsky K., Ackermann F.: Photogrammetrie, 7e éd., Stuttgart 1976 (cf. p. 346).

Adresse de l'auteur:  
Prof. Dr. O. Kölbl  
Institut de photogrammétrie EPFL  
33, av. de Cour, CH-1007 Lausanne