

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural
<b>Band:</b>	60 (1962)
<b>Heft:</b>	12
<b>Artikel:</b>	Méthode numérique d'orientation de vues aériennes quelconques dans un stéréorestituteur
<b>Autor:</b>	Bachmann, W.K.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-217711">https://doi.org/10.5169/seals-217711</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### 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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### 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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.01.2026

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

# Méthode numérique d'orientation de vues aériennes quelconques dans un stéréorestituteur<sup>1</sup>

Par Dr. W. K. Bachmann, professeur à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne

A l'autographe Wild A7, comme aux autres stéréorestituteurs du reste, l'orientation des vues aériennes est généralement faite par un procédé mécano-optique, dit *méthode de von Gruber*. Elle consiste essentiellement dans l'élimination successive des parallaxes verticales en six points – dits *points caractéristiques* – de l'image plastique, moyennant variation des éléments d'orientation. Les modifications apportées par différents auteurs à la méthode de von Gruber donnent lieu à des variantes, souvent fort utiles pour la pratique, mais les méthodes restent néanmoins toujours mécano-optiques.

Tant que le terrain à restituer est relativement plat, les méthodes mécano-optiques conduisent facilement au résultat recherché, mais il n'en est plus de même en haute montagne, où l'on a fréquemment affaire à des différences de niveau dépassant 1000 m par couple. Dans ce cas, on est obligé d'avoir recours à certains artifices, dont le principal consiste dans la détermination graphique ou numérique de l'inclinaison transversale  $\omega$  en utilisant les méthodes de *Kasper* ou de *Jerie*. Malgré cela, l'orientation de vues à fortes différences d'altitude entraîne toujours encore de nombreuses difficultés, raison pour laquelle ce problème a été porté à l'ordre du jour au 9<sup>e</sup> Congrès de la Société Internationale de Photogrammétrie qui s'est tenu à Londres en 1960. De plus, différentes méthodes numériques d'orientation ont été développées. Il en existe notamment une, due à Hallert et datant de 1944, mais qui ne s'applique qu'aux terrains plats. En outre, H. Schmid en Autriche s'est également occupé de ce problème en 1954. Malgré tous ces efforts, l'orientation rapide et sûre des vues à grandes différences d'altitude n'a pas encore trouvé de solution définitive.

Vu que les calculatrices électroniques offrent des possibilités nouvelles, nous avons essayé de développer une méthode entièrement numérique dans l'espoir d'améliorer dans une certaine mesure la situation. Nous regrettons de ne pouvoir parler ici de tous les programmes de calcul développés, car certains d'entre eux font l'objet d'une thèse qui sera présentée à notre école. Il existe notamment un programme permettant de calculer simultanément les orientations relative et absolue d'un couple quelconque. J'espère qu'il pourra être publié d'ici peu.

Afin de ne pas empiéter sur ce travail de thèse, nous avons donné à nos recherches un caractère plutôt théorique. Le problème que nous nous sommes proposé de résoudre comporte les points suivants:

1<sup>o</sup> Recherche d'une méthode d'orientation relative numérique donnant *automatiquement* la valeur des éléments d'orientation à partir

<sup>1</sup> Conférence donnée à la Société suisse de Photogrammétrie le 28 novembre 1962.

des parallaxes verticales mesurées avec by et enregistrées sur bande perforée avec le EK 3. Cette méthode doit être valable pour une disposition quelconque des vues, n'importe quelle configuration du sol et un choix arbitraire des points à observer.

2<sup>o</sup> Calcul des erreurs moyennes à craindre sur les éléments d'orientation et sur les coordonnées et altitudes des points utilisés pour la mesure des parallaxes verticales.

3<sup>o</sup> Recherche d'une méthode numérique d'orientation absolue et calcul des erreurs moyennes à craindre sur les coordonnées et altitudes des points observés.

### *§ 1. Méthode numérique d'orientation relative de vues aériennes quelconques à l'autographe Wild A 7*

Pour fixer les idées et afin que nos développements puissent également être appliqués à la triangulation aérienne, nous avons choisi la méthode de la connexion des images en maintenant la chambre A fixe, les éléments d'orientation étant ceux de la chambre B. Il faut tout d'abord disposer d'une formule appropriée permettant de calculer la parallaxe verticale en fonction des accroissements attribués aux éléments d'orientation à partir d'une orientation relative correcte. Pour le cas de vues quelconques, cette formule est assez compliquée, mais elle est toujours linéaire par rapport aux dits accroissements. En la transformant convenablement, on peut lui donner la forme d'une *équation aux erreurs*. Si la parallaxe verticale est alors mesurée en 5 points indépendants, on obtient 5 équations aux erreurs à 5 inconnues, dont la résolution nous donne la valeur définitive des éléments d'orientation. Mais on s'efforcera naturellement de mesurer la parallaxe verticale en un plus grand nombre de points, afin d'augmenter ainsi la précision du résultat final. Dans nos programmes, nous avons prévu un *maximum* de 25 points par couple, ce qui est sans doute largement suffisant.

Lorsque la parallaxe verticale est mesurée en plus de 5 points, ce qui sera pratiquement toujours le cas, on procédera à une compensation d'après la méthode des moindres carrés, qui nous fournira:

1<sup>o</sup> l'erreur moyenne  $\mu$  à craindre sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché;

2<sup>o</sup> la valeur compensée des éléments d'orientation, ainsi que leurs erreurs moyennes;

3<sup>o</sup> les coefficients de poids et de corrélation ainsi que les coefficients de dépendance des éléments d'orientation.

Le calcul et l'impression de toutes ces grandeurs demandent environ 7 minutes par couple avec la Zebra lorsque 20 points ont été observés. Pour les applications pratiques, on n'aura cependant besoin que des valeurs compensées des éléments d'orientation, et dans ce cas le temps de calcul ne dépassera pas une minute.

Mais le calcul n'est pas tout; nous devons tout d'abord fournir à la

calculatrice sur bande perforée les mesures effectuées à l'autographe. Il importe donc que ces bandes perforées puissent être obtenues rapidement, car autrement la méthode numérique perdrait toute utilité pratique malgré la rapidité du calcul. Grâce à l'enregistreur automatique des coordonnées EK 3, accouplé à l'autographe A 7, l'enregistrement est presque automatique. En effet, il suffit de placer sur le clavier du pupitre de commande du EK 3, pour chaque point observé:

- a) le numéro du point;
- b) la valeur de by lue après l'élimination de la parallaxe verticale avec by en ce point

et de presser ensuite le bouton «enregistrement». Le EK 3 perfore alors une bande qui peut être lue sans autre par la calculatrice *Zebra*. Lors des calculs, on la fait précéder d'une *bande numérique préliminaire*, donnant la valeur initiale des éléments d'orientation. Cette dernière bande est perforée à la main avec un télescripteur approprié.

Afin de pouvoir se rendre compte des résultats qu'on obtient ainsi, nous avons mesuré et calculé quatre exemples numérotés de 0 à 3. Vous trouverez les caractéristiques des vues utilisées au début des tableaux II à V, tandis que le tableau I résume les résultats obtenus pour ces 4 couples<sup>1</sup>.

Notons que les couples N°s 0 et 1 sont formés par des *vues à basse altitude* prises avec un objectif Aviogon  $f = 15$  cm sur film  $24 \times 24$  cm. Les couples N°s 2 et 3, par contre, sont constitués par des vues prises à haute altitude avec un objectif Aviogon  $f = 10$  cm sur plaques  $15 \times 15$  cm. L'angle d'ouverture des deux objectifs est pratiquement le même. Dans le couple N° 0, le terrain est accidenté, tandis qu'il est plat dans le couple N° 1. Les deux couples N°s 2 et 3 ont été pris en haute montagne, ce qui fait que les différences de niveau y sont très fortes. Dans le couple N° 2, la configuration géométrique du terrain est particulièrement défavorable; nous nous trouvons au voisinage du cylindre dangereux; voir figure du tableau IV.

Il va de soi que les quelques exemples traités ne permettent pas de se faire une idée définitive de la précision qu'on peut ainsi réaliser, ceci d'autant plus qu'il y aurait lieu d'étudier également des couples tronqués. Pour pouvoir conclure définitivement, il faudrait continuer encore cette série d'essais, travail qui pourrait être fait par exemple à l'OEEPE, qui est particulièrement bien placée pour ce genre de recherches. Mais malgré ces lacunes, les quelques exemples traités nous permettent de tirer les conclusions suivantes:

1° Les erreurs moyennes des variables angulaires ont pour valeurs:

$$\begin{aligned}\mu_\kappa &= \pm 0,^{\circ}4 \text{ à } \pm 0,^{\circ}6 \\ \mu_\varphi &= \pm 0,^{\circ}9 \text{ à } \pm 1,^{\circ}5 \\ \mu_\omega &= \pm 0,^{\circ}6 \text{ à } \pm 1,^{\circ}4\end{aligned}$$

<sup>1</sup> Remarque concernant le tableau V: Par omission, l'échelle métrique des abscisses n'a pas été indiquée aux deux dernières figures; elle est la même qu'aux figures précédentes.

**TABLEAU N° I**  
**ERREURS MOYENNES DES ÉLÉMENTS**  
**D'ORIENTATION.**

	Modèles			
	Basse Altitude		Haute Altitude	
	N° 0 film 24x24	N° 1 film 24x24	N° 2 plaqué 15x15	N° 3 plaqué 15x15
$\mu$ en $1/100$ mm.	$\pm 1.79$	$\pm 1.43$	$\pm 1.01$	$\pm 1.05$
$\mu_k^c$	$\pm 0^c.56$	$\pm 0^c.40$	$\pm 0^c.43$	$\pm 0^c.45$
$\mu_\varphi^c$	$\pm 1^c.45$	$\pm 0^c.95$	$\pm 0^c.96$	$\pm 1^c.00$
$\mu_\omega^c$	$\pm 1^c.43$	$\pm 0^c.84$	$\pm 1^c.23$	$\pm 0^c.56$
$\mu_{by}$ en $1/100$ mm.	$\pm 7.48$	$\pm 4.08$	$\pm 6.53$	$\pm 2.70$
$\mu_{bz}$ en $1/100$ mm.	$\pm 2.20$	$\pm 1.40$	$\pm 1.73$	$\pm 1.82$

N° 149/3

Institut de Photogrammétrie EPFL

tandis que nous avons pour les variables linéaires:

$$\begin{aligned}\mu_{by} &= \pm 2,7 \text{ à } \pm 7,5 (1/100 \text{ mm}) \\ \mu_{bz} &= \pm 1,4 \text{ à } \pm 2,2 (1/100 \text{ mm})\end{aligned}$$

2<sup>o</sup> Quoique le terrain du modèle N° 2 ait une configuration géométrique très défavorable (cylindre dangereux), les erreurs moyennes des éléments d'orientation ont des valeurs tout à fait normales. Mais nous verrons par contre plus loin que la forme du terrain influence défavorablement la précision altimétrique des points restitués.

3<sup>o</sup> L'erreur moyenne  $\mu$  à craindre sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché varie entre

$$\mu = \pm 1,0 \text{ et } \pm 1,8 (1/100 \text{ mm}).$$

Cette valeur coïncide assez bien avec celle que nous avions admise en 1945 et qui était de  $\pm 0,02$  mm, mais elle est à priori en contradiction

avec les résultats obtenus par la commission F de l'OEEPE. En effet, à l'OEEPE nous avons trouvé

$$\mu = \pm 4 \text{ à } 6 \text{ microns.}$$

Mais cette discordance disparaît lorsqu'on tient compte du fait que la valeur obtenue ici ne provient pas uniquement des erreurs d'observation; elle est aussi influencée par l'état d'ajustage de l'autographe et par la déformation du support de l'émulsion.

4<sup>o</sup> Les coefficients de dépendance sont tous, à l'exception de celui de  $\omega$  et  $by$ , voisins de l'unité. Il en résulte que les variables d'orientation sont à peu près indépendantes à l'exception de  $\omega$  et  $by$ , qui sont liées par une équation linéaire.

### *§ 2. Précision de l'orientation relative numérique*

La précision de l'orientation relative numérique est complètement déterminée par les coefficients de poids et de corrélation des éléments d'orientation et par l'erreur moyenne à craindre sur la mesure des parallaxes verticales que nous avons choisie comme erreur moyenne à craindre sur l'unité de poids. Ces données ne nous renseignent cependant pas encore sur la précision des coordonnées et altitudes des points à restituer. Mais nous pouvons exprimer les variations des coordonnées et altitudes en fonction des accroissements attribués aux éléments d'orientation. En appliquant ensuite à ces relations le calcul symbolique des coefficients de poids, nous pouvons calculer les coefficients de poids et de corrélation des coordonnées et altitudes et nous obtenons par conséquent aussi leurs erreurs moyennes.

Les tableaux II à V nous donnent les valeurs obtenues pour les quatre couples. Pour l'exemple N° 0, l'erreur moyenne altimétrique a pour valeur maximum  $\pm 50$  cm, tandis qu'elle atteint  $\pm 2,20$  m pour le couple N° 3. Ces valeurs dépassent largement tout ce que l'on aurait pu prévoir. En effet, des vues à basse altitude, telles que nous les trouvons dans les couples N°s 0 et 1, sont constamment utilisées pour la restitution topographique à l'échelle 1 : 1000 où l'on obtient une précision altimétrique de l'ordre de grandeur de 10 à 15 cm. En ce qui concerne les vues à haute altitude, on sait par expérience que la précision altimétrique qu'elles permettent d'atteindre est en tout cas de  $\pm 1$  m. L'expérience pratique montre donc que la précision altimétrique d'une restitution est bien supérieure à celle qui résulterait des erreurs moyennes que nous venons de calculer. Cette contradiction s'explique cependant par le fait que nous n'avons pas fait intervenir l'orientation absolue dans nos calculs d'erreurs. En effet, les erreurs vraies des éléments d'orientation entraînent une déformation de l'image plastique *qui aura toujours une allure systématique* et qui pourra par conséquent être éliminée, au moins partiellement, par l'orientation absolue. Nous sommes donc ici de nouveau en présence du cas, fréquent en photogrammétrie, où des

erreurs purement accidentelles donnent lieu à des *déformations d'allure systématique*.

Mais en triangulation aérienne, l'orientation absolue du cliché B est, à l'exception de l'échelle, déterminée par son orientation relative. Une fois l'échelle ajustée à l'aide de l'altitude du ou des points de passage, la déformation résiduelle de l'image plastique se propagera dans la bande et donnera ainsi aux erreurs accidentelles une allure tout à fait systématique. Nous voyons donc une fois de plus que les erreurs d'allure systématique de la triangulation aérienne peuvent très bien être de nature essentiellement accidentelle.

### *§ 3. Calcul de la déformation de l'image plastique due aux erreurs de l'orientation relative*

En 1951, nous avons indiqué des formules permettant de calculer, pour un couple quelconque, les variations des coordonnées et de l'altitude d'un point restitué en fonction des erreurs des éléments d'orientation. Nous pouvons ainsi calculer les *erreurs vraies* des coordonnées et de l'altitude d'un point quelconque de l'image plastique en fonction des *erreurs vraies* des éléments d'orientation. Mais au point de vue de la théorie des erreurs, les éléments d'orientation sont des *variables aléatoires*. Malheureusement, elles sont dépendantes et nous ne pouvons par conséquent faire intervenir la loi de la propagation des erreurs. Ce fait complique singulièrement le problème et nous oblige à introduire une substitution linéaire, afin d'exprimer les variables  $d\kappa$ ,  $d\varphi$ ,  $d\omega$ ,  $dy$ ,  $dz$  en fonction de nouvelles variables  $T_1 \dots T_5$ , qui doivent alors être indépendantes. On est ainsi amené à résoudre un système de 10 équations linéaires à 10 inconnues, ce qui est évidemment chose facile avec une calculatrice électronique. Cette transformation ayant été faite, l'équation de l'ellipsoïde d'erreur des 5 nouvelles variables s'écrit:

$$\left( \frac{T_1}{\mu_{T_1}} \right)^2 + \dots + \left( \frac{T_5}{\mu_{T_5}} \right)^2 = 1 \quad (1)$$

où  $\mu_{T_1} \dots \mu_{T_5}$  désignent les erreurs moyennes à craindre sur  $T_1 \dots T_5$ .

Par conséquent, les 5 variables  $T_1 \dots T_5$  qui sont indépendantes, au point de vue de la théorie des erreurs, ne le sont pas au point de vue algébrique, ce qui entraîne de nouvelles difficultés puisque nous ne pouvons pas attribuer des valeurs arbitraires à  $T_1 \dots T_5$ . Cette difficulté peut être surmontée par l'introduction de 5 paramètres  $k_1 \dots k_5$ , liés aux variables  $T_1 \dots T_5$  par les formules

$$T_1 = \frac{k_1}{\sqrt{[k^2]}} \cdot \mu_{T_1} \\ \vdots \\ T_5 = \frac{k_5}{\sqrt{[k^2]}} \cdot \mu_{T_5} \quad (2)$$

TABLEAU N° II

Exemple N° 0 Institut de Photogrammétrie E.P.U.L.

## ORIENTATION RELATIVE NUMÉRIQUE

(CONNEXION DE LA CHAMBRE B.)

① Appareil de restitution : AUTOGRAPHE WILD A7

Opérateur : Miserez Date : Sept. 1962

Calculatrice : ZEBRA Programme de calcul : N° 404.1

② Entreprise N° 139 ST. CERGUE Couple : 1/3.4

Vues normales Support : { films plaques } Format : 24 x 24 cm.

Recouvrement : 65 % Objectif : AVIOGON f = 150 mm.

Hauteur de vol sur sol : 850 m.

Configuration géométrique du terrain : accidenté

Base : { intérieure } Echelle des vues : 1/5600  
{ extérieure } Echelle de l'image plastique : 1/3000

### ③ RÉPARTITION DES POINTS DANS L'ESPACE DE L'IMAGE PLASTIQUE

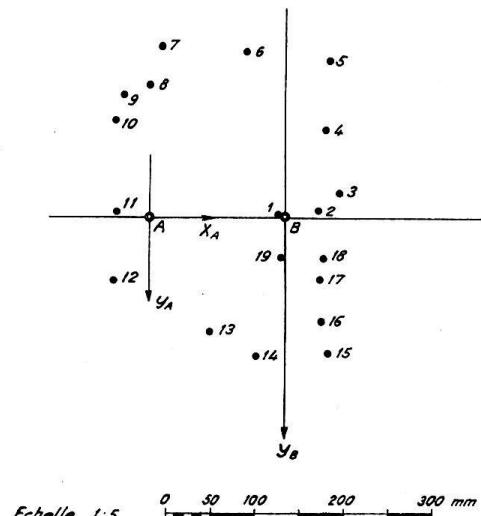


TABLEAU N° III

Exemple N° 1 Institut de Photogrammétrie E.P.U.L.

## ORIENTATION RELATIVE NUMÉRIQUE

(CONNEXION DE LA CHAMBRE B.)

① Appareil de restitution : AUTOGRAPHE WILD A7

Opérateur : Miserez Date : Juillet 1962

Calculatrice : ZEBRA Programme de calcul : N° 404.1

② Entreprise N° 146 ROPRAZ - SYENS Couple : 3/7.8

Vues normales Support : { films plaques } Format : 24 x 24 cm.

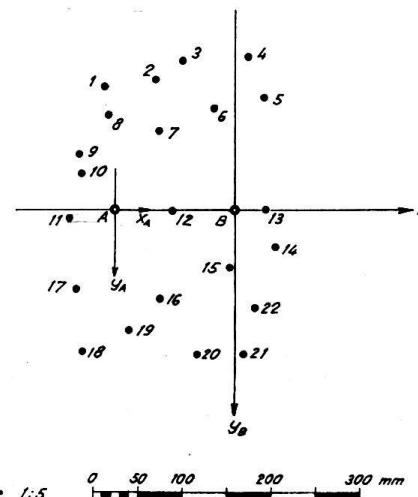
Recouvrement : 60 % Objectif : AVIOGON f = 151.96 mm.

Hauteur de vol sur sol : 720 m.

Configuration géométrique du terrain : plat

Base : { intérieure } Echelle des vues : 1/4750  
{ extérieure } Echelle de l'image plastique : 1/3000

### ③ RÉPARTITION DES POINTS DANS L'ESPACE DE L'IMAGE PLASTIQUE



4

ORIENTATION RELATIVE

## A) ERREURS MOYENNES DES VARIABLES D'ORIENTATION

$\mu = \pm 1.79 \text{ } \frac{1}{100} \text{ mm.}$  = Erreur moyenne à craindre sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché.

$$\left. \begin{array}{l} \mu_k = \pm 0.56 \\ \mu_\varphi = \pm 1.45 \\ \mu_w = \pm 1.43 \\ \mu_{by} = \pm 7.48 \\ \mu_{bz} = \pm 2.20 \end{array} \right\} \text{Erreurs moyennes en minutes centésimales}$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \text{Erreurs moyennes en } \frac{1}{100} \text{ mm.}$$

## B) COEFFICIENTS DE DÉPENDANCE :

$$d_{\alpha/\beta}^2 = \frac{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta} - Q_{\alpha\beta}^2}{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta}}$$

$d_{\alpha/\beta}^2$	$\varphi$	$w$	$b_y$	$b_z$
$K$	+ 0.8953	+ 0.9459	+ 0.9275	+ 0.9640
$\varphi$		+ 0.9353	+ 0.9471	+ 0.8517
$w$			+ 0.0133	+ 0.9270
$b_y$				+ 0.9204

Unités :

$K, \varphi, w : 1^\circ$   
 $b_y, b_z, \mu : 1 \text{ mm.}$

## C) ERREURS MOYENNES DES COORDONNÉES RESTITUÉES

N°	$\mu_x$ cm	$\mu_y$ cm	$\mu_z$ cm
1	$\pm 18.56$	$\pm 1.92$	$\pm 37.28$
2	$\pm 25.93$	$\pm 2.23$	$\pm 39.59$
3	$\pm 30.43$	$\pm 4.37$	$\pm 41.82$
4	$\pm 28.35$	$\pm 14.58$	$\pm 40.96$
5	$\pm 30.90$	$\pm 28.66$	$\pm 43.35$
6	$\pm 14.46$	$\pm 25.14$	$\pm 35.01$
7	$\pm 1.71$	$\pm 28.09$	$\pm 40.32$
8	$\pm 0.26$	$\pm 23.55$	$\pm 45.44$
9	$\pm 5.45$	$\pm 22.92$	$\pm 48.45$
10	$\pm 7.28$	$\pm 18.66$	$\pm 48.21$
11	$\pm 6.68$	$\pm 3.06$	$\pm 46.60$
12	$\pm 7.78$	$\pm 11.47$	$\pm 50.96$
13	$\pm 9.13$	$\pm 15.60$	$\pm 35.94$
14	$\pm 14.45$	$\pm 18.35$	$\pm 31.87$
15	$\pm 24.33$	$\pm 20.09$	$\pm 32.24$
16	$\pm 23.83$	$\pm 15.72$	$\pm 33.93$
17	$\pm 25.32$	$\pm 10.23$	$\pm 38.32$
18	$\pm 26.55$	$\pm 7.21$	$\pm 40.25$
19	$\pm 19.67$	$\pm 6.35$	$\pm 38.69$
20			
21			
22			
23			
24			
25			

4

ORIENTATION RELATIVE

## A) ERREURS MOYENNES DES VARIABLES D'ORIENTATION

$\mu = \pm 1.43 \text{ } \frac{1}{100} \text{ mm.}$  = Erreur moyenne à craindre sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché..

$$\left. \begin{array}{l} \mu_k = \pm 0.40 \\ \mu_\varphi = \pm 0.95 \\ \mu_w = \pm 0.84 \\ \mu_{by} = \pm 4.08 \\ \mu_{bz} = \pm 1.40 \end{array} \right\} \text{Erreurs moyennes en minutes centésimales}$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \text{Erreurs moyennes en } \frac{1}{100} \text{ mm.}$$

## B) COEFFICIENTS DE DÉPENDANCE :

$$d_{\alpha/\beta}^2 = \frac{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta} - Q_{\alpha\beta}^2}{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta}}$$

$d_{\alpha/\beta}^2$	$\varphi$	$w$	$b_y$	$b_z$
$K$	+ 0.9926	+ 0.9488	+ 0.8958	+ 0.9931
$\varphi$		+ 0.9316	+ 0.9294	+ 0.4996
$w$			+ 0.0246	+ 0.9656
$b_y$				+ 0.9663

Unités :

$K, \varphi, w : 1^\circ$   
 $b_y, b_z, \mu : 1 \text{ mm.}$

## C) ERREURS MOYENNES DES COORDONNÉES RESTITUÉES

N°	$\mu_x$ cm	$\mu_y$ cm	$\mu_z$ cm
1	$\pm 1.25$	$\pm 13.81$	$\pm 23.27$
2	$\pm 4.06$	$\pm 12.46$	$\pm 19.65$
3	$\pm 6.47$	$\pm 13.92$	$\pm 19.52$
4	$\pm 12.36$	$\pm 15.07$	$\pm 19.86$
5	$\pm 14.21$	$\pm 11.66$	$\pm 20.92$
6	$\pm 9.12$	$\pm 9.70$	$\pm 19.67$
7	$\pm 4.44$	$\pm 7.95$	$\pm 21.10$
8	$\pm 0.73$	$\pm 10.76$	$\pm 25.15$
9	$\pm 4.76$	$\pm 7.28$	$\pm 29.16$
10	$\pm 4.29$	$\pm 4.90$	$\pm 27.04$
11	$\pm 6.08$	$\pm 1.68$	$\pm 28.42$
12	$\pm 5.61$	$\pm 1.18$	$\pm 21.41$
13	$\pm 14.64$	$\pm 1.72$	$\pm 21.42$
14	$\pm 16.19$	$\pm 4.02$	$\pm 22.35$
15	$\pm 10.83$	$\pm 5.58$	$\pm 20.85$
16	$\pm 4.45$	$\pm 0.66$	$\pm 21.73$
17	$\pm 4.92$	$\pm 9.44$	$\pm 27.59$
18	$\pm 4.06$	$\pm 16.68$	$\pm 27.14$
19	$\pm 1.53$	$\pm 12.34$	$\pm 22.96$
20	$\pm 7.60$	$\pm 13.93$	$\pm 19.35$
21	$\pm 12.40$	$\pm 15.17$	$\pm 20.32$
22	$\pm 13.41$	$\pm 10.04$	$\pm 20.36$
23			
24			
25			

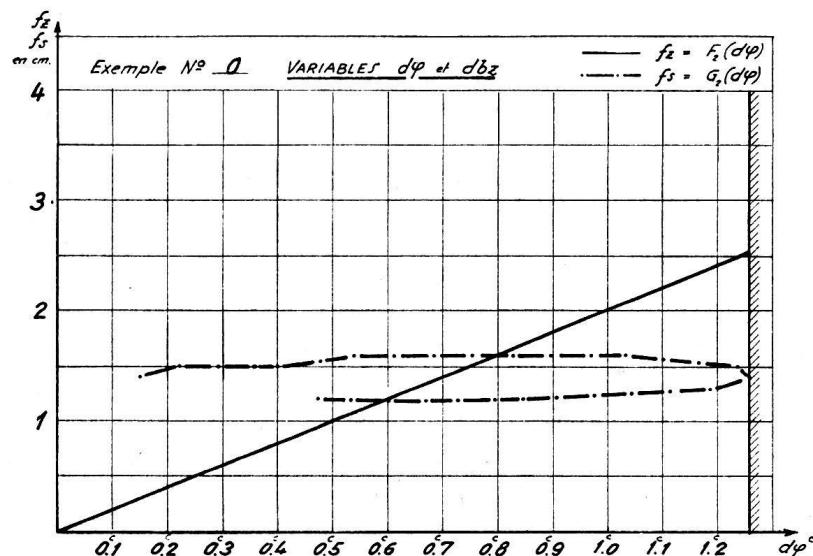
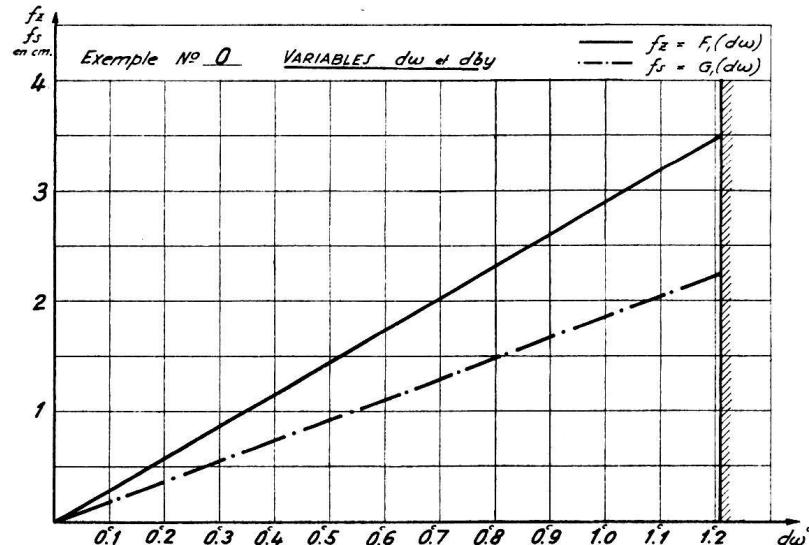
⑤

## ORIENTATION ABSOLUE

### A) VALEUR MOYENNE DES ERREURS RÉSIDUELLES PLANIMÉTRIQUES ET ALTIMÉTRIQUES

Altimétrie :  $f_z = \sqrt{\frac{[V_x V_z]}{n}}$

Planimétrie :  $f_s = \sqrt{\frac{[V_x V_x] + [V_y V_y]}{n}}$



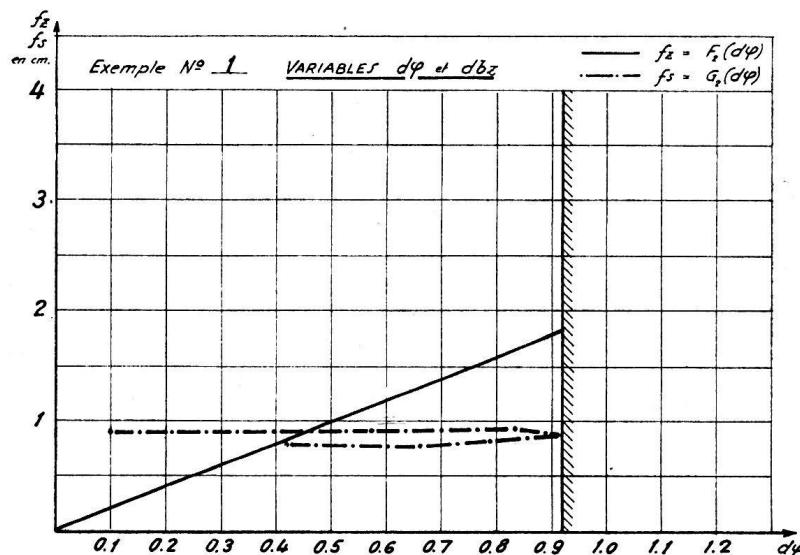
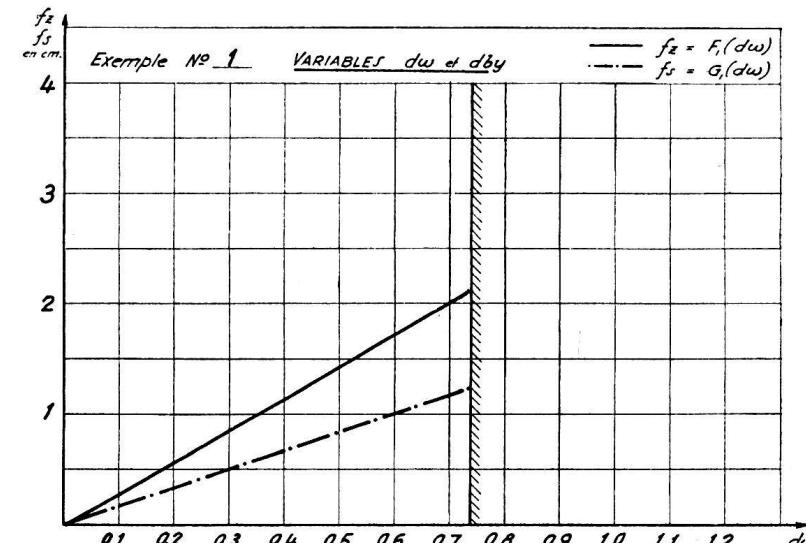
⑤

## ORIENTATION ABSOLUE

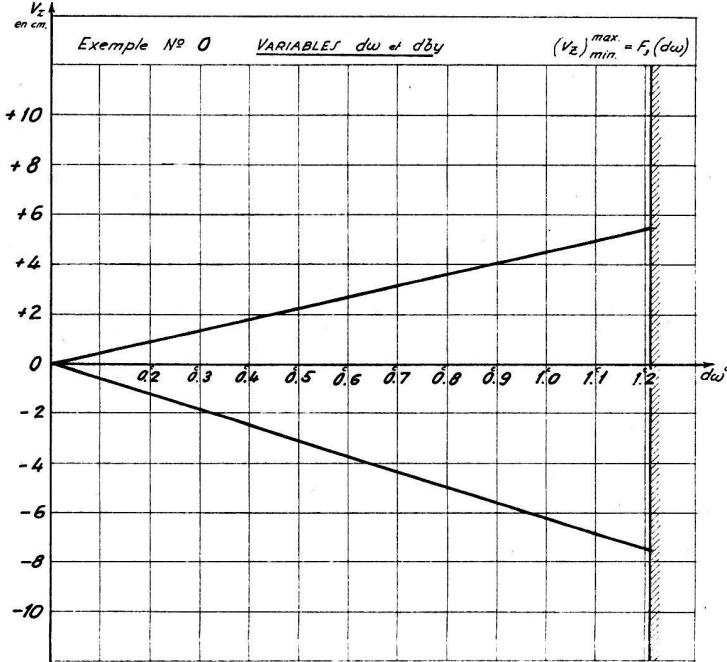
### A) VALEUR MOYENNE DES ERREURS RÉSIDUELLES PLANIMÉTRIQUES ET ALTIMÉTRIQUES

Altimétrie :  $f_z = \sqrt{\frac{[V_x V_z]}{n}}$

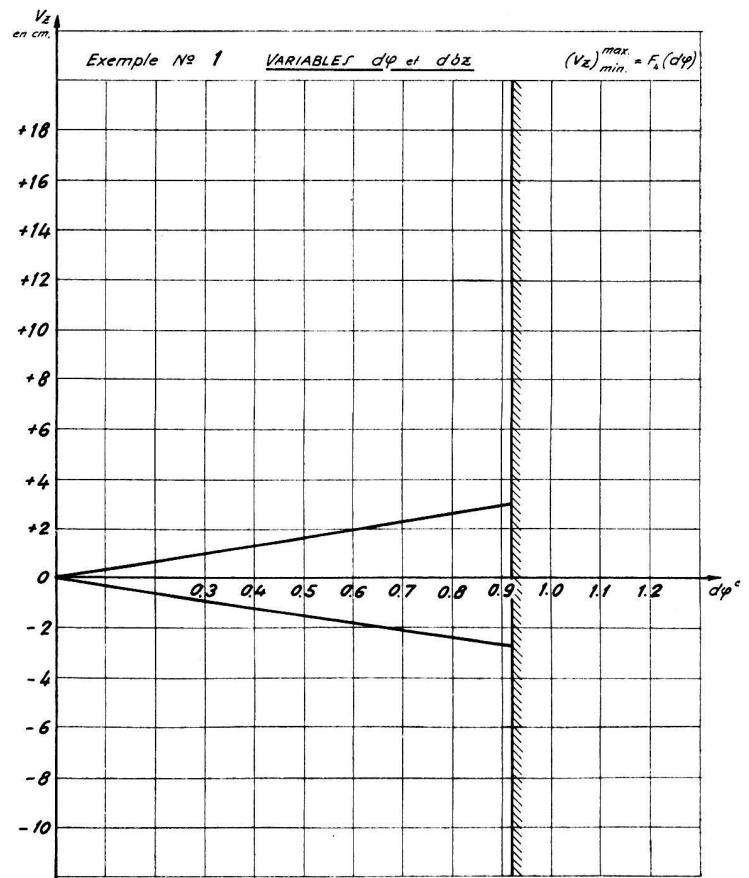
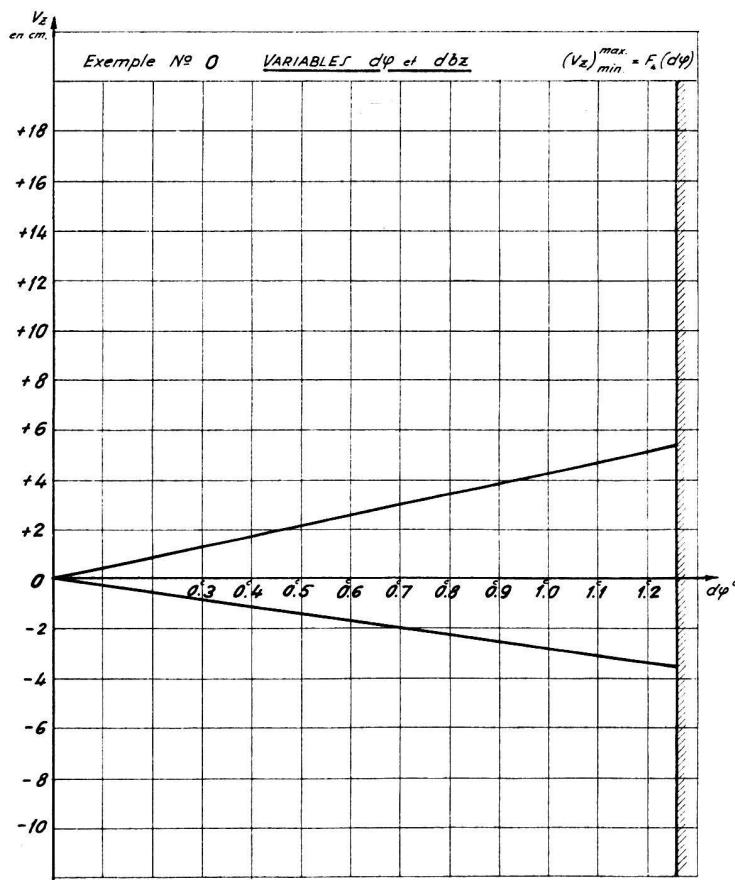
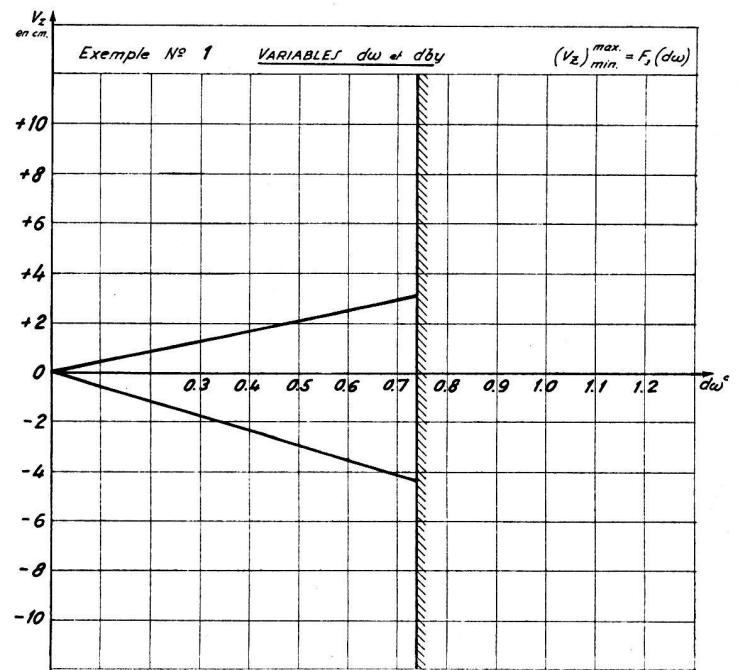
Planimétrie :  $f_s = \sqrt{\frac{[V_x V_x] + [V_y V_y]}{n}}$



B) ERREURS RÉSIDUELLES ALTIMÉTRIQUES EXTRÊMES



B) ERREURS RÉSIDUELLES ALTIMÉTRIQUES EXTRÊMES



N° 149/4

N° 149/5

TABLEAU N° IV

Exemple N° 2 Institut de Photogrammétrie E.P.U.L.

ORIENTATION RELATIVE NUMÉRIQUE  
(CONNEXION DE LA CHAMBRE B.)

① Appareil de restitution : AUTOGRAPHE WILD A7

Opérateur : Howard Date : Juillet 1958

Calculatrice : ZEBRA Programme de calcul : N° 404.1

② Entreprise N° 1 ZERMATT Couple : 27/12.13

Vues normales Support : { filtre plaque } Format : 15 x 15 cm

Recouvrement : 70 % Objectif : AVIAGON f = 100.26 mm.

Hauteur de vol sur sol : 2800 m

Configuration géométrique du terrain : Cylindre dangereux

Base : { intérieure } Echelle des vues : 1/28000  
{ extérieure } Echelle de l'image plastique : 1/10000

③ RÉPARTITION DES POINTS DANS L'ESPACE  
DE L'IMAGE PLASTIQUE

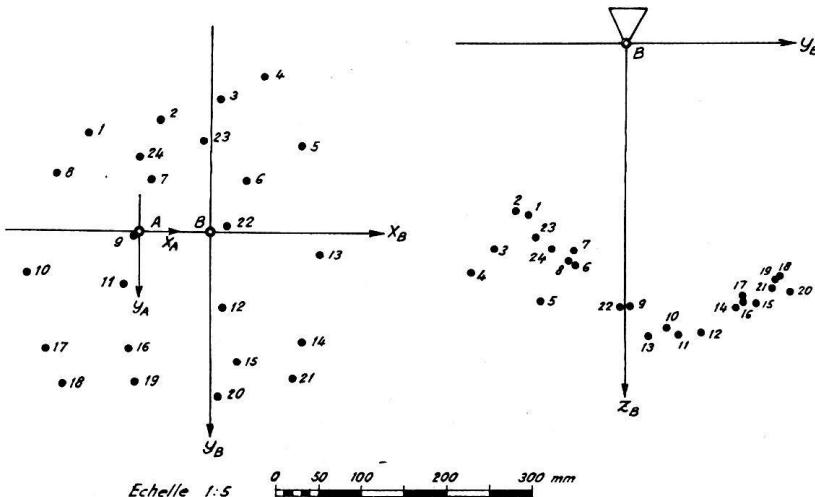


TABLEAU N° V

Exemple N° 3 Institut de Photogrammétrie E.P.U.L.

ORIENTATION RELATIVE NUMÉRIQUE  
(CONNEXION DE LA CHAMBRE B.)

① Appareil de restitution : AUTOGRAPHE WILD A7

Opérateur : Miserez Date : Sept. 1962

Calculatrice : ZEBRA Programme de calcul : N° 404.1

② Entreprise N° 106.3 ST. NICOLAS Couple : 60/6.5

Vues normales Support : { filtre plaque } Format : 15 x 15 cm

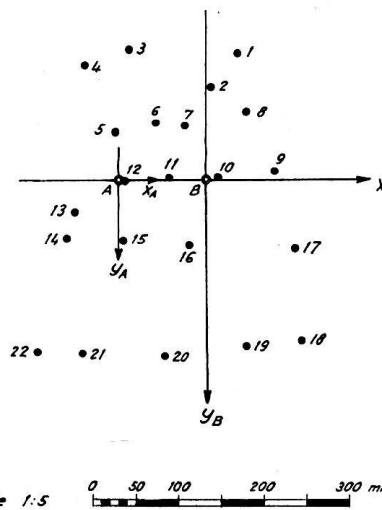
Recouvrement : 65 % Objectif : AVIAGON f = 100.29 mm.

Hauteur de vol sur sol : 2500 m

Configuration géométrique du terrain : très accidenté

Base : { intérieure } Echelle des vues : 1/25000  
{ extérieure } Echelle de l'image plastique : 1/10000

③ RÉPARTITION DES POINTS DANS L'ESPACE  
DE L'IMAGE PLASTIQUE



4

ORIENTATION RELATIVE

## A) ERREURS MOYENNES DES VARIABLES D'ORIENTATION

$\mu = \pm 1.01 \text{ } \frac{1}{100} \text{ mm.}$  = Erreur moyenne à croire sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché.

$$\left. \begin{array}{l} \mu_k = \pm 0.43 \\ \mu_\varphi = \pm 0.96 \\ \mu_w = \pm 1.23 \\ \mu_{by} = \pm 6.53 \\ \mu_{bz} = \pm 1.73 \end{array} \right\} \text{Erreurs moyennes en minutes centésimales}$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \mu_{by} = \pm 6.53 \\ \mu_{bz} = \pm 1.73 \end{array} \right\} \text{Erreurs moyennes en } \frac{1}{100} \text{ mm.}$$

## B) COEFFICIENTS DE DÉPENDANCE :

$$d_{\alpha\beta}^2 = \frac{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta} - Q_{\alpha\beta}^2}{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta}}$$

$d_{\alpha\beta}^2$	$\varphi$	$w$	$by$	$bz$
$K$	+0.8870	+0.7529	+0.7269	+0.9104
$\varphi$		+0.7776	+0.7769	+0.9986
$w$			+0.0084	+0.5573
$by$				+0.5502

Unités :

$K, \varphi, w : 1^\circ$   
 $by, bz, \mu : 1 \text{ mm.}$

## C) ERREURS MOYENNES DES COORDONNÉES RESTITUÉES

N°	$\mu_x$ cm	$\mu_y$ cm	$\mu_z$ cm
1	$\pm 38.18$	$\pm 68.67$	$\pm 127.86$
2	$\pm 9.68$	$\pm 51.65$	$\pm 80.10$
3	$\pm 38.14$	$\pm 63.36$	$\pm 97.36$
4	$\pm 67.27$	$\pm 87.14$	$\pm 123.82$
5	$\pm 107.51$	$\pm 59.98$	$\pm 169.96$
6	$\pm 57.68$	$\pm 31.27$	$\pm 118.66$
7	$\pm 6.73$	$\pm 31.26$	$\pm 115.29$
8	$\pm 71.80$	$\pm 47.43$	$\pm 187.22$
9	$\pm 3.87$	$\pm 4.28$	$\pm 184.18$
10	$\pm 110.20$	$\pm 41.01$	$\pm 276.47$
11	$\pm 11.80$	$\pm 41.73$	$\pm 226.50$
12	$\pm 63.04$	$\pm 57.67$	$\pm 216.05$
13	$\pm 152.44$	$\pm 19.17$	$\pm 245.18$
14	$\pm 138.04$	$\pm 95.20$	$\pm 221.15$
15	$\pm 72.26$	$\pm 97.40$	$\pm 188.74$
16	$\pm 7.14$	$\pm 81.48$	$\pm 181.10$
17	$\pm 78.48$	$\pm 95.19$	$\pm 210.70$
18	$\pm 57.85$	$\pm 111.65$	$\pm 175.58$
19	$\pm 2.71$	$\pm 96.57$	$\pm 151.70$
20	$\pm 56.19$	$\pm 119.79$	$\pm 174.26$
21	$\pm 128.30$	$\pm 126.42$	$\pm 201.87$
22	$\pm 57.22$	$\pm 6.87$	$\pm 170.50$
23	$\pm 29.23$	$\pm 43.65$	$\pm 89.05$
24	$\pm 0.08$	$\pm 43.78$	$\pm 120.34$
25			

4

ORIENTATION RELATIVE

## A) ERREURS MOYENNES DES VARIABLES D'ORIENTATION

$\mu = \pm 1.05 \text{ } \frac{1}{100} \text{ mm.}$  = Erreur moyenne à croire sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché.

$$\left. \begin{array}{l} \mu_k = \pm 0.45 \\ \mu_\varphi = \pm 1.00 \\ \mu_w = \pm 0.56 \\ \mu_{by} = \pm 2.70 \\ \mu_{bz} = \pm 1.82 \end{array} \right\} \text{Erreurs moyennes en minutes centésimales}$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \mu_{by} = \pm 2.70 \\ \mu_{bz} = \pm 1.82 \end{array} \right\} \text{Erreurs moyennes en } \frac{1}{100} \text{ mm.}$$

## B) COEFFICIENTS DE DÉPENDANCE :

$$d_{\alpha\beta}^2 = \frac{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta} - Q_{\alpha\beta}^2}{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta}}$$

$d_{\alpha\beta}^2$	$\varphi$	$w$	$by$	$bz$
$K$	+0.9732	+0.9938	+0.9537	+0.9980
$\varphi$		+0.9999	+0.9999	+0.8260
$w$			+0.0636	+0.7338
$by$				+0.6928

## C) ERREURS MOYENNES DES COORDONNÉES RESTITUÉES

N°	$\mu_x$ cm	$\mu_y$ cm	$\mu_z$ cm
1	$\pm 49.55$	$\pm 56.70$	$\pm 78.09$
2	$\pm 33.93$	$\pm 36.29$	$\pm 64.32$
3	$\pm 4.97$	$\pm 57.24$	$\pm 88.63$
4	$\pm 18.68$	$\pm 58.91$	$\pm 107.86$
5	$\pm 1.61$	$\pm 18.69$	$\pm 63.48$
6	$\pm 13.02$	$\pm 20.02$	$\pm 56.45$
7	$\pm 20.86$	$\pm 18.02$	$\pm 48.26$
8	$\pm 54.74$	$\pm 31.71$	$\pm 82.27$
9	$\pm 86.38$	$\pm 7.49$	$\pm 131.33$
10	$\pm 45.90$	$\pm 4.20$	$\pm 102.51$
11	$\pm 20.58$	$\pm 4.18$	$\pm 80.71$
12	$\pm 2.65$	$\pm 3.80$	$\pm 110.05$
13	$\pm 26.43$	$\pm 19.56$	$\pm 126.67$
14	$\pm 34.64$	$\pm 37.40$	$\pm 158.68$
15	$\pm 1.87$	$\pm 33.18$	$\pm 129.39$
16	$\pm 35.23$	$\pm 33.34$	$\pm 117.91$
17	$\pm 114.80$	$\pm 47.08$	$\pm 175.17$
18	$\pm 131.28$	$\pm 121.18$	$\pm 205.02$
19	$\pm 83.88$	$\pm 113.73$	$\pm 190.72$
20	$\pm 29.04$	$\pm 114.11$	$\pm 185.20$
21	$\pm 27.89$	$\pm 122.92$	$\pm 207.91$
22	$\pm 67.29$	$\pm 132.23$	$\pm 220.50$
23			
24			
25			

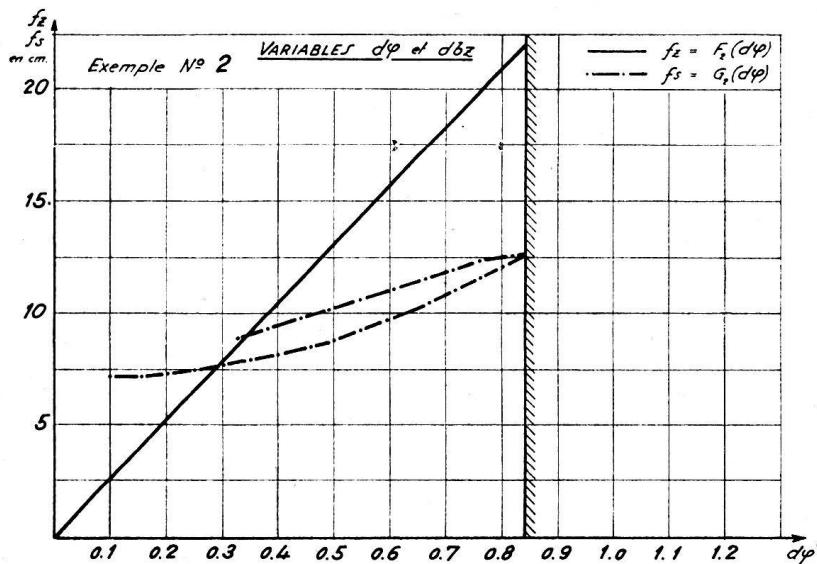
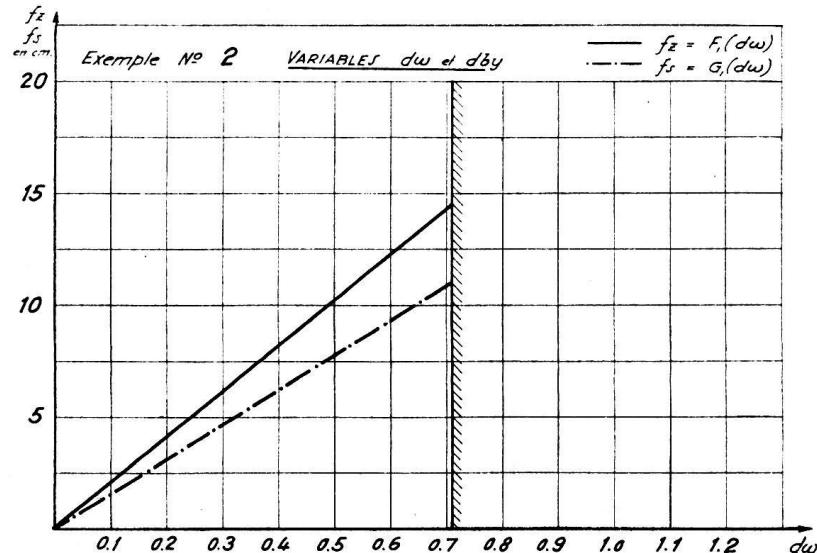
5

## ORIENTATION ABSOLUE

### A) VALEUR MOYENNE DES ERREURS RÉSIDUELLES PLANIMÉTRIQUES ET ALTIMÉTRIQUES

Altimétrie :  $f_z = \sqrt{\frac{[V_x V_x]}{n}}$

Planimétrie :  $f_s = \sqrt{\frac{[V_x V_x] + [V_y V_y]}{n}}$



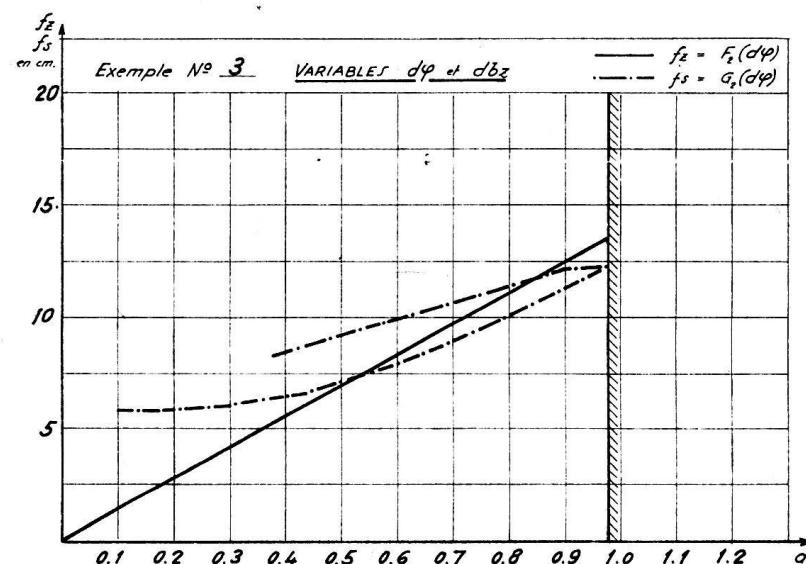
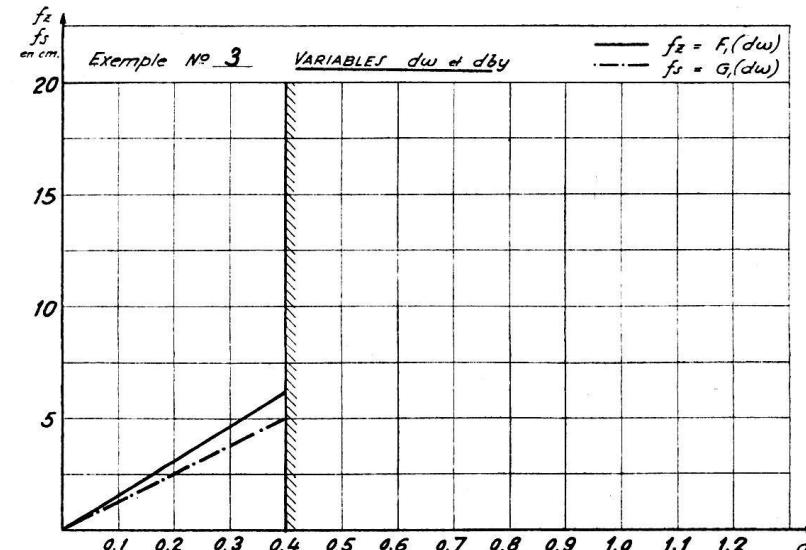
5

## ORIENTATION ABSOLUE

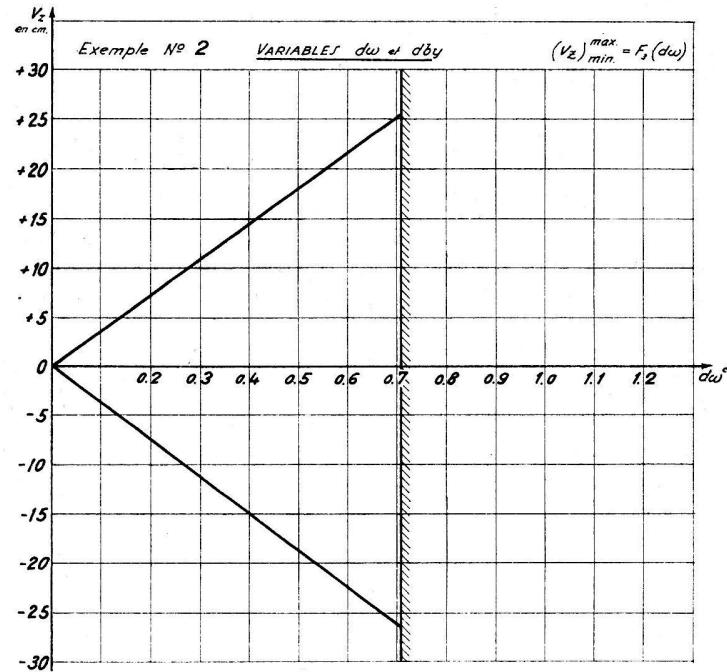
### A) VALEUR MOYENNE DES ERREURS RÉSIDUELLES PLANIMÉTRIQUES ET ALTIMÉTRIQUES

Altimétrie :  $f_z = \sqrt{\frac{[V_x V_x]}{n}}$

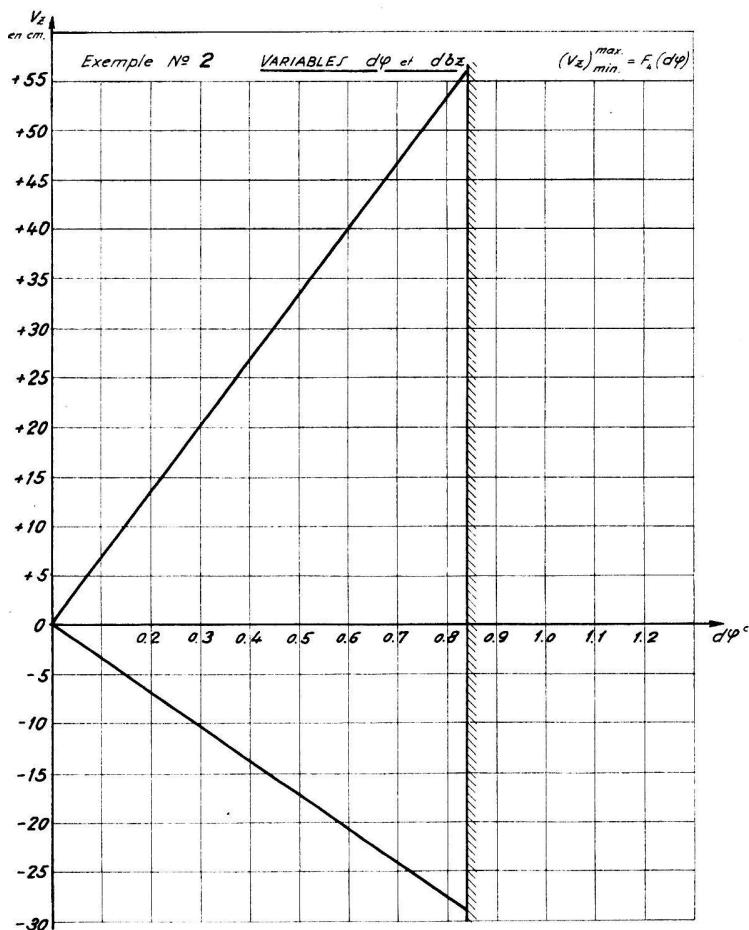
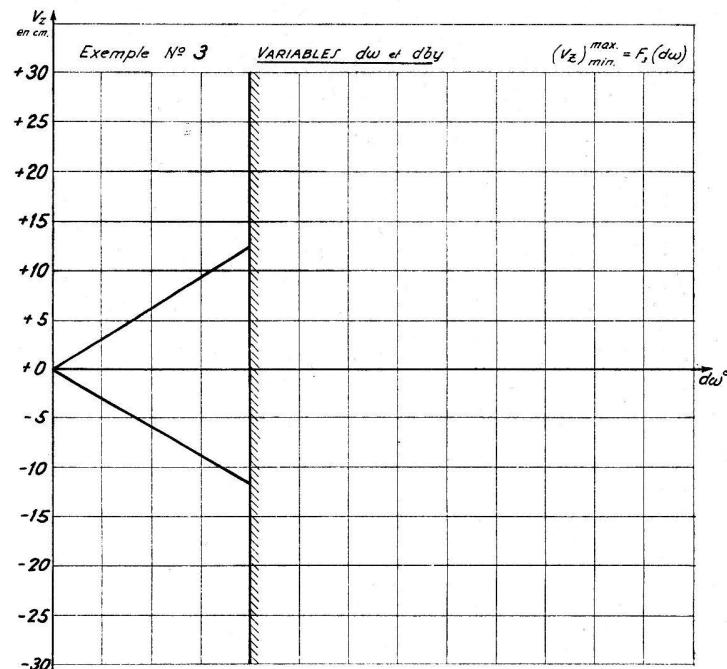
Planimétrie :  $f_s = \sqrt{\frac{[V_x V_x] + [V_y V_y]}{n}}$



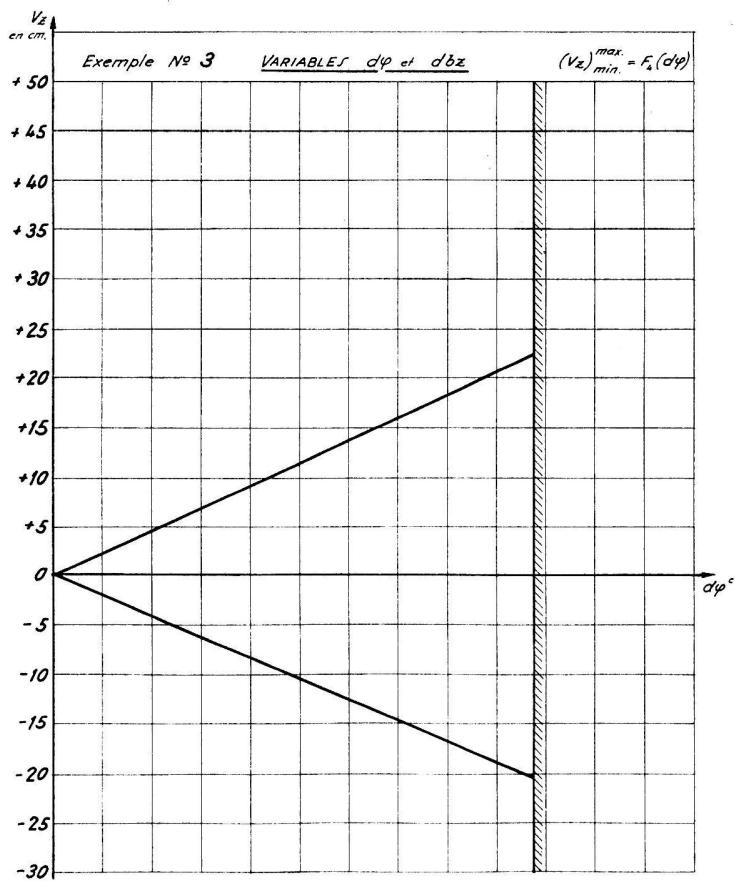
B) ERREURS RÉSIDUELLES ALTIMÉTRIQUES EXTRÊMES



B) ERREURS RÉSIDUELLES ALTIMÉTRIQUES EXTRÊMES



N° 149/6



N° 149/7

TABLEAU N° VI

Exemple N° 3 Institut de Photogrammétrie EPUL  
Programme N° 404.1

ORIENTATION RELATIVE

Clichés      Echelle modèle = 1/10000 mm.

N° Entreprise      Ligne      A      B      E      f mm.

+106.30 + 68.00 + 6.00 + 5.00 + 10000.00 + 100.29

Facteur altimétrique-k      n = nombre de points observés  
+ 10.00 + 22.00

$K_A^{gr}$	$K_B^{gr}$	$\varphi_A^{gr}$	$\varphi_B^{gr}$	$w_A^{gr}$	$w_B^{gr}$	Conditions initiales
+400.0000	+400.0000	+99.4400	+98.7000	+99.3500	+99.5000	
+100.00	+97.30	+100.00	+100.00	+102.00	+100.00	(Unité: mm.)

$$\left. \begin{array}{l} +0.698491931 - 8 \\ +0.232830644 - 9 \\ +1.000000000 - 999 \\ +0.232830644 - 7 \\ +1.000000000 - 999 \end{array} \right\} \equiv 0 : \text{Contrôle de la résolution des équations normales}$$

$$\left. \begin{array}{l} K_A^{gr} \quad \varphi_A^{gr} \quad w_A^{gr} \quad \delta y_A^{mm} \quad \delta z_A^{mm} \\ +400.2928 + 98.7040 + 99.4978 + 97.06 + 100.02 \end{array} \right\} \text{Chambre B : éléments définitifs à introduire}$$

+ 1.005 =  $\pm \mu$  en 1/100 mm. = Erreur moyenne à craindre sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché.

N°      V en 1/100 mm.

1	+	1.31
2	+	0.25
3	-	1.30
4	+	0.83
5	+	0.63
6	-	1.56
7	-	1.11
8	-	0.17
9	-	1.22
10	+	0.52
11	+	1.55
12	+	1.68
13	-	0.52
14	-	0.57
15	+	0.01
16	+	0.70
17	-	0.22
18	-	0.70
19	+	0.30
20	+	0.50
21	+	0.37
22	-	1.11

Corrections V des parallaxes verticales mesurées.

Corrections calculées dans le plan du cliché.

Coefficients de poids et de corrélation des éléments d'orientation.

Qij	K	$\varphi$	w	$\delta y$	$\delta z$	Unités:
K	+ 0.1835	+ 0.0671	- 0.0180	- 0.2384	- 0.0337	
$\varphi$	+ 0.0671	+ 0.9168	- 0.0054	- 0.0300	+ 0.6966	
w	- 0.0180	- 0.0054	+ 0.2831	+ 1.3324	+ 0.4789	
$\delta y$	- 0.2384	- 0.0300	+ 1.3324	+ 6.6955	+ 2.5014	
$\delta z$	- 0.0337	+ 0.6966	+ 0.4789	+ 2.5014	+ 3.0421	

$$\left. \begin{array}{l} + 0.45 = \pm \mu_K^c \\ + 1.00 = \pm \mu_\varphi^c \\ + 0.56 = \pm \mu_w^c \\ + 2.70 = \pm \mu_{\delta y}^c \\ + 1.82 = \pm \mu_{\delta z}^c \end{array} \right\} \text{en 1/100 mm.} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Erreurs moyennes des} \\ \text{éléments d'orientation.} \end{array} \right.$$

$K\varphi$	$Kw$	$K\delta y$	$K\delta z$	Coefficients de dépendance
+ 0.9732	+ 0.9938	+ 0.9537	+ 0.9980	
$\varphi w$	$\varphi \delta y$	$\varphi \delta z$	$\delta y \delta z$	
+ 0.9999	+ 0.9999	+ 0.8260	+ 0.7338	

$$d_{\varphi w}^2 = \frac{Q_{\varphi w} \cdot Q_{w\varphi} - Q_{\varphi w}^2}{Q_{\varphi w} \cdot Q_{w\varphi}}$$

+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 1.0	+ 0.0	ETAT IV
+ 4	+ 0.00	+ 0.00	+ 0.00	+ 0.54	- 0.00
+ 1	- 0.2	+ 0.0	- 2.7	+ 0.0	
+ 2	- 0.3	+ 0.0	- 2.7	+ 0.0	
+ 3	- 0.3	- 0.0	- 2.7	- 0.0	
+ 4	- 0.2	+ 0.0	- 2.7	- 0.0	
+ 5	- 0.3	+ 0.0	- 2.7	- 0.0	
+ 6	- 0.3	- 0.0	- 2.7	- 0.0	
+ 7	- 0.3	- 0.0	- 2.7	- 0.0	
+ 8	- 0.2	+ 0.0	- 2.7	+ 0.0	
+ 9	- 0.2	+ 0.0	- 2.7	+ 0.0	
+ 10	- 0.2	+ 0.0	- 2.7	+ 0.0	
+ 11	- 0.2	- 0.0	- 2.7	- 0.0	
+ 12	- 0.2	- 0.0	- 2.7	- 0.0	
+ 13	- 0.2	+ 0.0	- 2.7	- 0.0	
+ 14	- 0.2	+ 0.0	- 2.7	- 0.0	
+ 15	- 0.2	- 0.0	- 2.7	- 0.0	
+ 16	- 0.2	- 0.0	- 2.7	- 0.0	
+ 17	- 0.2	+ 0.0	- 2.7	+ 0.0	
+ 18	- 0.2	+ 0.0	- 2.7	+ 0.0	
+ 19	- 0.2	+ 0.0	- 2.7	+ 0.0	
+ 20	- 0.2	- 0.0	- 2.7	- 0.0	
+ 21	- 0.2	+ 0.0	- 2.7	- 0.0	
+ 22	- 0.2	+ 0.0	- 2.7	- 0.0	

$$+ 0.10000002 + 1 + 0.131606204 - 3 + 0.698491931 = 11$$

$$+ 0.0 = - 0.0$$

+ 0.0	+ 0.0	ETAT V
+ 1	- 0.0	+ 0.0
+ 2	- 0.0	+ 0.0
+ 3	- 0.0	- 0.0
+ 4	- 0.0	- 0.0
+ 5	- 0.0	- 0.0
+ 6	- 0.0	- 0.0
+ 7	- 0.0	- 0.0
+ 8	- 0.0	+ 0.0
+ 9	- 0.0	+ 0.0
+ 10	- 0.0	+ 0.0
+ 11	- 0.0	- 0.0
+ 12	- 0.0	- 0.0
+ 13	- 0.0	- 0.0
+ 14	- 0.0	- 0.0
+ 15	- 0.0	- 0.0
+ 16	- 0.0	+ 0.0
+ 17	- 0.0	+ 0.0
+ 18	- 0.0	+ 0.0
+ 19	- 0.0	+ 0.0
+ 20	- 0.0	- 0.0
+ 21	- 0.0	- 0.0
+ 22	- 0.0	- 0.0

+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 1.0	
+ 5	+ 0.00	+ 0.00	+ 0.00	- 1.29
+ 1	- 0.4	+ 3.0	- 7.6	+ 4.7
+ 2	- 0.3	+ 0.4	- 3.9	+ 0.7
+ 3	- 0.4	- 0.6	- 3.2	- 11.3
+ 4	- 0.3	+ 3.1	+ 6.8	- 18.0
+ 5	- 0.2	+ 0.3	+ 2.2	- 13.5
+ 6	- 0.3	- 1.7	+ 0.3	- 7.5
+ 7	- 0.3	- 1.4	- 1.2	- 3.2
+ 8	- 0.3	+ 4.0	- 4.4	+ 0.0
+ 9	- 0.0	+ 6.7	- 0.6	+ 10.2
+ 10	- 0.0	+ 0.7	- 0.1	+ 1.7
+ 11	- 0.0	- 1.4	- 0.0	- 5.6
+ 12	- 0.0	- 0.3	- 0.0	- 12.2
+ 13	- 0.1	+ 4.1	- 2.0	- 19.5
+ 14	- 0.1	+ 4.5	- 3.4	- 20.7
+ 15	- 0.1	- 0.2	- 1.5	- 12.4
+ 16	- 0.1	- 0.8	- 1.1	- 2.6
+ 17	- 0.1	+ 8.6	+ 5.0	+ 13.1
+ 18	- 0.3	+ 9.0	+ 12.6	+ 14.1
+ 19	- 0.2	+ 2.5	+ 7.1	+ 5.8
+ 20	- 0.2	- 1.0	+ 0.1	- 6.3
+ 21	- 0.2	+ 2.5	- 7.3	- 18.5
+ 22	- 0.3	+ 7.7	- 11.7	- 25.2

$$+ 0.2$$

N°	$Q_{xx}$	$Q_{yy}$	$Q_{zz}$
1	+ 22.4717	+ 29.5179	+ 55.8253
2	+ 10.5478	+ 12.0579	+ 37.8738
3	+ 0.2261	+ 29.9975	+ 71.9067
4	+ 3.1937	+ 31.7700	+ 106.4920
5	+ 0.0237	+ 3.1994	+ 36.8872
6	+ 1.5510	+ 3.6691	+ 29.1731
7	+ 3.0820	+ 2.9733	+ 21.3253
8	+ 27.4300	+ 9.2028	+ 61.9601
9	+ 68.3098	+ 0.5141	+ 157.8977
10	+ 19.2892	+ 0.1612	+ 96.2053
11	+ 3.0771	+ 0.1663	+ 59.6309
12	+ 0.0641	+ 0.1233	+ 110.8628
13	+ 6.3970	+ 3.5023	+ 146.8752
14	+ 10.0824	+ 12.8024	+ 30.5055
15	+ 0.0322	+ 10.0759	+ 153.2585
16	+ 11.3630	+ 10.1745	+ 27.2777
17	+ 12.0609	+ 20.2926	+ 80.9112
18	+ 157.7818	+ 124.4329	+ 84.8045
19	+ 64.4036	+ 118.4178	+ 332.9768
20	+ 7.7195	+ 119.1949	+ 313.9904
21	+ 7.1226	+ 138.3457	+ 395.7087
22	+ 41.4525	+ 160.0524	+ 445.1014

N°	$Q_{xy}$	$Q_{xz}$	$Q_{yz}$
1	- 25.7183	+ 35.4288	- 40.5350
2	- 11.2580	+ 19.9814	- 21.3408
3	- 2.5956	+ 4.0324	- 46.2857
4	+ 10.0242	- 18.4418	- 57.8846
5	+ 0.2053	- 0.9356	- 10.4593
6	- 2.3401	+ 6.7266	- 10.1490
7	- 3.3480	+ 9.2151	- 7.7479
8	- 15.7566	+ 41.2258	- 23.6804
9	- 4.1205	+ 10.3.8555	- 6.2647
10	- 0.5108	+ 43.0781	- 1.1407
11	- 0.1041	+ 15.2062	- 0.4081
12	+ 0.0226	+ 2.6662	+ 0.9389
13	- 4.5739	- 30.6523	+ 21.9166
14	- 11.7483	- 50.3141	+ 53.8230
15	+ 0.5661	+ 2.2204	+ 39.0746
16	+ 10.7023	+ 38.0296	+ 35.8186
17	+ 49.0500	+ 18.4097	+ 74.8474
18	+ 145.3378	+ 446.4044	+ 226.9709
19	+ 87.1862	+ 146.4408	+ 198.2438
20	+ 30.2870	+ 49.2327	+ 193.1607
21	- 31.3244	- 53.0892	+ 233.4819
22	- 81.2632	- 135.8328	+ 266.2859

N°	$d^2_{xy}$	$d^2_{xz}$	$d^2_{yz}$
1	+ 0.0026	+ 0.0000	+ 0.0026
2	+ 0.0027	- 0.0000	+ 0.0027
3	+ 0.0068	- 0.0000	+ 0.0068
4	+ 0.0096	+ 0.0000	+ 0.0096
5	+ 0.0730	+ 0.0000	+ 0.0730
6	+ 0.0377	+ 0.0000	+ 0.0377
7	+ 0.0532	- 0.0000	+ 0.0532
8	+ 0.0166	+ 0.0000	+ 0.0166
9	+ 0.5166	- 0.0000	+ 0.5166
10	+ 0.9161	+ 0.0000	+ 0.9161
11	+ 0.9246	+ 0.0000	+ 0.9246
12	+ 0.9399	+ 0.0000	+ 0.9399
13	+ 0.0661	- 0.0000	+ 0.0661
14	+ 0.0183	- 0.0000	+ 0.0183
15	+ 0.0113	+ 0.0000	+ 0.0113
16	+ 0.0093	+ 0.0000	+ 0.0093
17	+ 0.0172	- 0.0000	+ 0.0172
18	+ 0.0041	- 0.0000	+ 0.0041
19	+ 0.0033	- 0.0000	+ 0.0033
20	+ 0.0031	+ 0.0000	+ 0.0031
21	+ 0.0041	- 0.0000	+ 0.0041
22	+ 0.0047	+ 0.0000	+ 0.0047

Erreurs moyennes provenant de l'orientation relative

N°	$X_B$	$Y_B$	$Z_B$	$\mu_x$	$\mu_y$	$\mu_z$
1	+ 37.20	- 148.00	+ 219.40	+ 49.55	+ 56.78	+ 78.09
2	+ 5.80	- 100.10	+ 204.50	+ 33.93	+ 36.29	+ 64.32
3	- 80.29	- 152.85	+ 226.65	+ 4.97	+ 57.24	+ 88.63
4	- 141.82	- 135.77	+ 229.94	+ 18.68	+ 58.91	+ 107.86
5	- 106.58	- 55.93	+ 180.57	+ 1.61	+ 18.60	+ 63.48
6	- 58.91	- 66.39	+ 186.88	+ 13.02	+ 20.02	+ 56.45
7	- 25.13	- 66.77	+ 177.89	+ 20.86	+ 18.02	+ 48.26
8	+ 47.40	- 79.45	+ 224.54	+ 54.74	+ 31.71	+ 83.27
9	+ 80.47	- 9.50	+ 277.44	+ 86.38	+ 76.49	+ 131.33
10	+ 13.10	- 2.70	+ 257.05	+ 45.90	+ 4.20	+ 102.51
11	- 44.12	- 2.13	+ 227.01	+ 20.58	+ 4.18	+ 80.71
12	- 95.89	+ 0.98	+ 254.06	+ 2.65	+ 3.80	+ 110.05
13	- 153.84	+ 37.44	+ 248.40	+ 26.43	+ 10.56	+ 126.67
14	- 163.20	+ 67.20	+ 280.79	+ 34.64	+ 37.40	+ 158.68
15	- 98.03	- 70.47	+ 274.02	+ 1.87	+ 33.10	+ 120.39
16	- 20.34	+ 75.56	+ 273.30	+ 35.23	+ 33.34	+ 117.91
17	+ 103.48	- 80.00	+ 231.55	+ 114.80	+ 47.05	+ 175.17
18	+ 111.04	+ 187.45	+ 232.70	+ 131.28	+ 21.18	+ 205.02
19	+ 45.70	+ 19.02	+ 335.84	+ 83.88	+ 113.73	+ 190.73
20	- 45.24	+ 20.47	+ 332.66	+ 20.04	+ 114.11	+ 185.20
21	- 146.35	+ 206.76	+ 330.57	+ 27.80	+ 22.92	+ 207.91
22	- 198.99	+ 198.67	+ 317.02	+ 67.29	+ 134.23	+ 220.50

Unité : 1 mm.

Unité : 1 cm.  
Echelle 1:1

+ 0.10000427 + 1 + 0.168223224 - 1 + 0.423320443 - 8

+ 0.0.0 + 0.0.8

+ 6.0 + 0.1

+ 1 - 0.1 - 6.8 - 0.1  
+ 2 - 2.4 - 3.1 + 0.0  
+ 3 - 3.2 + 4.4 - 0.3  
+ 4 + 0.9 + 8.0 - 0.2  
+ 5 - 1.9 + 3.0 + 0.2  
+ 6 - 4.2 + 1.1 + 0.2  
+ 7 - 3.9 - 0.6 + 0.2  
+ 8 + 1.1 - 3.9 + 0.0  
+ 9 + 3.8 - 0.5 - 0.1  
+ 10 - 1.8 + 0.2 - 0.0  
+ 11 - 3.8 + 0.4 + 0.1  
+ 12 - 2.4 - 0.5 - 0.0  
+ 13 + 2.3 - 1.4 + 0.0  
+ 14 + 2.9 - 3.0 - 0.1  
+ 15 - 2.1 - 1.3 - 0.0  
+ 16 - 3.0 + 1.1 + 0.0  
+ 17 + 5.9 + 4.6 - 0.1  
+ 18 + 6.5 + 10.7 + 0.0  
+ 19 + 0.4 + 6.4 - 0.0  
+ 20 - 2.7 - 0.4 - 0.0  
+ 21 + 1.1 - 7.5 - 0.0  
+ 22 + 6.6 - 11.8 - 0.0

### ETATS COMBINÉS

+ 0.0.0 + 0.0.0 + 1.0 - 1.0 + 0.0

+ 6 + 0.00 + 0.00 + 0.10 - 0.10 + 0.00

+ 1 + 0.3 - 0.5 + 3.5 - 0.8  
+ 2 + 0.2 - 0.1 + 2.6 - 0.1  
+ 3 + 0.3 + 0.1 + 1.6 + 2.0  
+ 4 + 0.2 - 0.5 + 1.2 + 2.9  
+ 5 + 0.3 - 0.0 + 1.7 + 0.9  
+ 6 + 0.2 + 0.1 + 1.9 + 0.6  
+ 7 + 0.2 - 0.4 + 1.9 + 0.2  
+ 8 + 0.2 - 0.4 + 2.6 - 0.6  
+ 9 + 0.2 - 0.1 + 2.6 - 0.1  
+ 10 + 0.2 - 0.0 + 2.5 - 0.0  
+ 11 + 0.2 + 0.0 + 2.2 + 0.0  
+ 12 + 0.2 - 0.0 + 2.4 - 0.0  
+ 13 + 0.2 + 0.2 + 2.3 - 0.9  
+ 14 + 0.2 + 0.4 + 2.4 - 1.6  
+ 15 + 0.2 - 0.0 + 2.5 - 1.0  
+ 16 + 0.2 - 0.1 + 2.7 - 0.2  
+ 17 + 0.2 + 0.8 + 3.1 + 1.2  
+ 18 + 0.2 + 2.0 + 5.6 + 3.1  
+ 19 + 0.2 + 0.6 + 4.7 + 1.3  
+ 20 + 0.2 - 0.2 + 3.0 - 1.5  
+ 21 + 0.2 + 0.6 + 1.3 - 4.4  
+ 22 + 0.2 + 1.8 + 0.2 - 5.9

+ 0.2

+ 0.10000163 + 1 + 0.101746197 - 2 + 0.529160554 - 9

+ 0.0.0 + 0.1

+ 1.2 + 1.5  
+ 2 - 0.5 + 0.2 - 1.3  
+ 3 - 0.2 - 0.5 + 1.5  
+ 4 + 0.2 - 0.5 + 3.0  
+ 5 - 0.2 - 0.5 + 1.3  
+ 6 - 0.2 - 0.4 + 0.4  
+ 7 - 0.3 - 0.4 - 0.2  
+ 8 - 0.9 + 0.2 - 2.0  
+ 9 - 0.5 + 0.0 - 1.5  
+ 10 - 0.3 - 0.1 - 0.6  
+ 11 - 0.2 - 0.2 + 0.1  
+ 12 - 0.2 + 0.1 + 0.6  
+ 13 - 0.2 - 0.1 + 0.6  
+ 14 - 0.4 - 0.0 + 0.2  
+ 15 - 0.1 - 0.0 + 0.1  
+ 16 - 0.3 + 0.1 + 0.1  
+ 17 - 0.4 + 0.6 + 0.2  
+ 18 - 0.4 + 1.8 + 2.6 + 2.8  
+ 19 + 0.4 + 1.8 + 1.8 + 1.8  
+ 20 - 0.2 + 0.3 + 0.3 + 0.0  
+ 21 + 0.8 - 1.4 - 2.4 - 1.0  
+ 22 + 2.1 - 2.4 - 2.4 - 2.8

# CALCUL DES 5 ÉTATS FONDAMENTAUX

$$+ m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 \\ + i_0 + o_0 + o_0 + o_0 + o_0$$

## ETAT I

$$N^o \quad d\alpha^c \quad d\beta^c \quad d\gamma^c \quad dbx_{100mm} \quad dbz_{100mm}$$

$$+ i + 0.36 - 0.00 - 0.00 + 0.00 + 0.00$$

$$N^o P_i \quad p_{v,i} \quad dx \quad dy \quad dz$$

$$+ i + 0.1 + 11.6 - 11.4 + 18.3$$

$$+ 2 + 0.0 + 6.6 - 6.7 + 12.5$$

$$+ 3 - 0.2 + 1.1 - 1.5 + 19.2$$

$$+ 4 - 0.4 - 3.0 - 14.4 + 17.2$$

$$+ 5 - 0.4 - 0.1 - 4.9 + 5.5$$

$$+ 6 - 0.2 + 1.6 - 4.3 + 6.9$$

$$+ 7 - 0.1 + 2.7 - 3.0 + 6.2$$

$$+ 8 - 0.1 + 2.7 - 2.3 + 10.0$$

$$+ 9 - 0.2 + 1.0 - 2.1 + 1.5$$

$$+ 10 + 0.0 + 0.2 + 0.2 + 0.4$$

$$+ 11 - 0.1 + 0.1 - 1.4 + 0.2$$

$$+ 12 - 0.2 - 0.0 - 2.9 - 0.2$$

$$+ 13 - 0.4 + 1.1 - 5.4 - 5.3$$

$$+ 14 - 0.4 + 2.3 - 7.4 - 10.6$$

$$+ 15 - 0.2 - 0.2 - 5.8 - 10.8$$

$$+ 16 - 0.1 - 3.5 - 4.0 - 11.6$$

$$+ 17 - 0.2 - 9.3 - 0.9 - 14.2$$

$$+ 18 + 0.2 - 22.6 - 17.0 - 35.3$$

$$+ 19 + 0.1 - 16.1 - 20.2 - 36.7$$

$$+ 20 - 0.1 - 6.0 - 25.1 - 38.1$$

$$+ 21 - 0.3 + 5.0 - 26.9 - 37.0$$

$$+ 22 - 0.4 + 10.7 - 27.9 - 35.2$$

$dx, dy, dz =$  Variations des coordonnées restituées.

Echelle 1:1 Unité: 1cm.

Ces erreurs proviennent uniquement de la variation des éléments de l'orientation relative ( $d\alpha_a, d\beta_a, \dots, dbz_a$ )

$p_{v,i}$  = parallaxe verticale calculée dans le plan du cliché unité: 100 mm.

$$+ 0.2 = \mu_{pv} = \sqrt{\frac{[p_{v,i}^2]}{n}} \quad \text{unité: 100 mm.}$$

facteur d'échelle Rotation

$$(1+\lambda) \quad dx^c \quad \Delta Z \text{ cm.}$$

$$+ 0.999959829 + 0 + 0.2021565588 + 0 - 0.423328443 - 8$$

$$\Delta \omega^c \quad \Delta \varphi^c$$

$$+ 0.9 - 0.0$$

$$f_x \text{ cm.} \quad f_z \text{ cm.}$$

$$N^o P_i \quad V_{x,i} \quad V_{y,i} \quad V_{z,i}$$

$$+ 1 + 9.9 - 11.5 - 1.7$$

$$+ 2 + 4.9 - 4.2 - 2.4$$

$$+ 3 - 5.9 - 12.0 - 1.2$$

$$+ 4 - 11.5 - 8.3 - 0.6$$

$$+ 5 - 4.7 + 3.3 - 2.7$$

$$+ 6 - 1.4 + 2.0 - 2.6$$

$$+ 7 + 1.2 + 2.3 - 3.1$$

$$+ 8 + 7.5 + 0.0 + 0.2$$

$$+ 9 + 5.4 + 6.2 + 3.8$$

$$+ 10 + 2.1 + 6.8 + 2.9$$

$$+ 11 - 0.3 + 7.0 + 1.6$$

$$+ 12 - 2.3 + 7.2 + 2.7$$

$$+ 13 - 2.4 + 8.1 + 2.7$$

$$+ 14 - 0.6 + 7.5 + 2.0$$

$$+ 15 - 0.4 + 7.2 + 2.0$$

$$+ 16 - 0.4 + 6.8 + 2.0$$

$$+ 17 - 1.2 + 6.1 + 2.5$$

$$+ 18 - 10.7 - 5.9 - 2.6$$

$$+ 19 - 6.7 - 6.7 - 2.6$$

$$+ 20 - 0.0 - 6.2 - 2.6$$

$$+ 21 - 0.9 - 7.2 - 2.2$$

$$+ 22 + 10.5 - 6.6 - 1.2$$

Erreurs résiduelles des coordonnées restituées après orientation absolue.

$$V_{x,i} \quad V_{y,i} \quad V_{z,i}$$

en cm. Echelle 1:1

$$+ 0.0 + 1.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0$$

## ETAT II

$$+ 2 + 0.00 - 0.85 - 0.00 + 0.00 + 0.00$$

$$+ i - 0.1 + 41.5 - 45.8 + 65.4$$

$$+ 2 - 0.0 + 29.1 - 29.7 + 55.2$$

$$+ 3 + 0.4 + 4.4 - 48.8 + 78.3$$

$$+ 4 + 0.5 - 16.7 - 51.2 + 96.2$$

$$+ 5 + 0.2 - 1.5 - 15.7 + 57.8$$

$$+ 6 + 0.1 + 11.7 - 16.6 + 50.6$$

$$+ 7 + 0.1 + 18.4 - 14.4 + 42.5$$

$$+ 8 - 0.1 + 46.1 - 25.6 + 69.4$$

$$+ 9 - 0.0 + 72.1 - 3.9 + 109.6$$

$$+ 10 - 0.0 + 39.0 - 0.9 + 87.0$$

$$+ 11 + 0.0 + 17.9 - 0.7 + 70.3$$

$$+ 12 - 0.0 + 2.3 + 0.3 + 96.8$$

$$+ 13 - 0.1 - 23.4 + 15.2 + 112.0$$

$$+ 14 - 0.2 - 30.2 + 30.4 + 118.4$$

$$+ 15 - 0.1 + 1.6 + 26.8 + 111.0$$

$$+ 16 - 0.0 + 29.4 + 26.8 + 98.4$$

$$+ 17 + 0.1 + 93.7 + 38.3 + 143.9$$

$$+ 18 + 0.3 + 103.0 + 94.9 + 160.9$$

$$+ 19 + 0.1 + 66.1 + 88.0 + 150.2$$

$$+ 20 - 0.1 + 23.2 + 88.8 + 147.9$$

$$+ 21 - 0.4 - 22.9 + 97.8 + 171.0$$

$$+ 22 - 0.5 - 56.2 + 106.6 + 184.0$$

$$+ 0.2$$

$$+ 0.0 + 0.0 + 1.0 + 1.0 + 0.0$$

$$+ 7 + 0.00 + 0.00 + 0.15 + 0.15 - 0.00$$

$$+ i + 0.3 - 0.8 + 3.8 - 1.3$$

$$+ 2 + 0.2 - 0.1 + 2.4 - 0.1$$

$$+ 3 + 0.3 + 0.2 + 1.0 + 3.1$$

$$+ 4 + 0.3 - 0.8 + 0.3 + 4.4$$

$$+ 5 + 0.2 - 0.0 + 1.1 + 1.4$$

$$+ 6 + 0.2 + 0.2 + 1.1 + 0.9$$

$$+ 7 + 0.2 + 0.2 + 2.4 + 0.9$$

$$+ 8 + 0.2 - 0.6 + 2.5 - 0.9$$

$$+ 9 + 0.2 - 0.1 + 2.5 - 0.2$$

$$+ 10 + 0.2 - 0.0 + 2.3 - 0.0$$

$$+ 11 + 0.2 + 0.0 + 1.9 + 0.0$$

$$+ 12 + 0.2 - 0.0 + 2.2 - 0.0$$

$$+ 13 + 0.2 + 0.2 + 2.2 - 0.0$$

$$+ 14 + 0.2 + 0.6 + 2.1 - 0.5$$

$$+ 15 + 0.2 - 0.1 + 2.6 - 0.4$$

$$+ 16 + 0.2 + 0.1 + 2.6 - 0.3$$

$$+ 17 + 0.2 + 0.2 + 2.6 - 0.2$$

$$+ 18 + 0.2 + 0.6 + 2.6 - 0.1$$

$$+ 19 + 0.2 + 0.9 + 2.7 - 0.0$$

$$+ 20 + 0.3 - 0.4 + 3.2 - 0.3$$

$$+ 21 + 0.3 + 0.9 + 0.5 - 0.8$$

$$+ 22 + 0.3 + 2.8 - 1.2 - 9.1$$

$$+ 0.100000252 + 1 + 0.124402048 - 1 + 0.317496332 - 9$$

$$+ 0.1 + 0.1$$

$$+ i + 2.4$$

$$+ i - 1.7 + 1.8 - 4.1$$

$$+ 2 - 0.8 + 0.3 - 2.0$$

$$+ 3 - 0.4 - 0.8 + 2.3$$

$$+ 4 - 1.2 - 1.4 + 4.6$$

$$+ 5 - 0.4 - 0.8 + 2.0$$

$$+ 6 - 0.3 - 0.7 + 0.7$$

$$+ 7 - 0.4 - 0.7 - 0.4$$

$$+ 8 - 1.3 + 0.3 - 3.1$$

$$+ 9 - 0.8 + 0.0 - 2.3$$

$$+ 10 - 0.5 - 0.1 - 0.9$$

$$+ 11 - 0.4 - 0.3 + 0.2$$

$$+ 12 - 0.2 + 0.1 + 0.9$$

$$+ 13 - 0.2 - 0.1 + 1.0$$

$$+ 14 - 0.6 - 0.1 + 0.2$$

$$+ 15 - 0.1 - 0.1 + 0.2$$

$$+ 16 - 0.4 + 0.1 + 0.2$$

$$+ 17 - 0.7 + 0.9 + 0.4$$

$$+ 18 - 2.7 + 4.0 + 4.3$$

$$+ 19 - 0.7 + 2.8 + 2.7$$

$$+ 20 - 0.3 + 0.4 + 0.0$$

$$+ 21 + 1.2 - 2.1 - 2.9$$

$$+ 22 + 3.2 - 3.7 - 4.3$$

$$+ 0.0 + 0.0 + 1.0 + 5.0 + 0.0$$

$$+ 8 + 0.00 + 0.00 + 0.40 + 2.03 - 0.00$$

$$+ i - 0.0 - 2.1 + 2.1 - 3.4$$

$$+ 2 - 0.2 - 0.3 - 1.7 - 0.4$$

$$+ 3 + 0.0 + 0.5 - 5.5 + 8.4$$

$$+ 4 - 0.0 - 2.0 - 7.4 + 11.8$$

$$+ 5 - 0.4 - 0.1 - 5.1 + 5.7$$

$$+ 6 - 0.4 + 0.6 - 4.5 + 2.4$$

$$+ 7 - 0.4 + 0.4 - 4.3 + 1.0$$

$$+ 8 - 0.2 - 1.5 - 1.5 - 2.3$$

$$+ 9 - 0.1 - 0.3 - 1.5 - 0.5$$

$$+ 10 - 0.2 - 0.0 - 2.1 - 0.0$$

$$+ 11 - 0.3 + 0.0 - 3.1 + 0.1$$

$$+ 12 - 0.2 - 0.0 - 2.2 - 0.1$$

$$+ 13 - 0.2 + 0.7 - 2.8 - 3.5$$

$$+ 14 - 0.1 + 1.5 - 2.5 - 6.7$$

$$+ 15 - 0.1 - 0.1 - 2.1 - 4.2$$

$$+ 16 - 0.1 - 0.3 - 1.2 - 0.9$$

$$+ 17 - 0.0 + 3.3 - 1.6 + 5.1$$

$$+ 18 - 0.2 + 8.2 + 10.7 + 12.8$$

$$+ 19 - 0.2 + 2.4 - 7.0 + 5.4$$

$$+ 20 - 0.3 - 1.9 + 0.3 - 6.3$$

$$+ 21 - 0.2 + 2.4 - 7.0 - 18.0$$

$$+ 22 + 0.2 + 7.4 - 11.5 - 24.3$$

$$+ 0.2$$

+0.100042233 + i -0.121432551 + o -0.740824775 - 7

- 0.9 - 0.5

+ 10.4 + 11.8

$$\begin{aligned}
 +1 &= 9.6 + 11.3 + 8.4 \\
 +2 &= 9.4 + 10.4 + 3.4 \\
 +3 &+ 6.8 + 7.9 + 9.5 \\
 +4 &+ 7.6 - 2.8 + 19.6 \\
 +5 &+ 6.4 - 0.3 - 6.7 \\
 +6 &- 0.4 + 4.2 - 11.6 \\
 +7 &- 8.0 + 5.5 - 13.9 \\
 +8 &- 10.5 + 2.7 + 1.1 \\
 +9 &+ 0.2 - 4.5 + 11.4 \\
 +10 &- 4.7 - 5.7 - 8.6 \\
 +11 &- 1.6 - 6.7 - 17.0 \\
 +12 &+ 4.6 - 8.1 - 6.1 \\
 +13 &+ 2.7 - 9.6 + 1.9 \\
 +14 &- 0.7 - 7.2 + 9.5 \\
 +15 &+ 3.5 - 11.0 - 10.5 \\
 +16 &- 1.6 - 11.6 - 17.8 \\
 +17 &+ 10.3 + 0.3 + 18.3 \\
 +18 &+ 14.4 + 11.8 + 13.4 \\
 +19 &+ 4.9 + 1.4 - 4.5 \\
 +20 &+ 2.2 - 4.0 - 14.1 \\
 +21 &- 3.1 + 4.1 + 3.2 \\
 +22 &- 14.1 + 12.8 + 18.0
 \end{aligned}$$

+ 0.2 + 0.3

+ 5.1 + 6.3

$$\begin{aligned}
 +1 &- 4.5 + 4.8 - 10.9 \\
 +2 &- 2.1 + 0.9 - 5.3 \\
 +3 &- 1.0 - 2.1 + 6.1 \\
 +4 &- 3.1 - 3.8 + 12.3 \\
 +5 &- 1.0 - 2.3 + 5.5 \\
 +6 &- 0.7 - 1.8 + 1.8 \\
 +7 &- 1.0 - 1.8 - 1.0 \\
 +8 &- 3.6 + 0.8 - 8.2 \\
 +9 &- 2.2 + 0.1 - 6.0 \\
 +10 &- 1.4 - 0.2 - 2.3 \\
 +11 &- 1.0 - 0.9 + 0.5 \\
 +12 &- 1.0 - 0.2 + 2.5 \\
 +13 &+ 0.7 + 0.2 + 2.5 \\
 +14 &+ 1.6 - 0.3 + 0.6 \\
 +15 &- 0.3 - 0.1 + 0.4 \\
 +16 &- 1.1 + 0.3 + 0.5 \\
 +17 &+ 1.7 + 2.4 + 1.0 \\
 +18 &+ 7.1 + 10.8 + 11.6 \\
 +19 &+ 1.8 + 7.4 + 7.3 \\
 +20 &- 0.9 + 1.1 + 0.1 \\
 +21 &+ 3.2 - 5.6 - 7.6 \\
 +22 &+ 8.5 - 9.9 - 11.6
 \end{aligned}$$
ETAT III

N° 149/8

Institut de Photogrammétrie EPFL.

+ 0.0 + 0.0 + 1.0 + 0.0 + 0.0

+ 3 + 0.00 + 0.00 + 0.12 - 0.00 + 0.00

$$\begin{aligned}
 +1 &+ 0.3 - 0.6 + 3.6 - 1.0 \\
 +2 &+ 0.2 - 0.1 + 2.5 - 0.1 \\
 +3 &+ 0.3 + 0.1 + 1.4 + 2.5 \\
 +4 &+ 0.3 - 0.6 + 0.8 + 3.5 \\
 +5 &+ 0.2 - 0.0 + 1.5 + 1.1 \\
 +6 &+ 0.2 + 0.2 + 1.7 + 0.7 \\
 +7 &+ 0.2 + 0.1 + 1.8 + 0.3 \\
 +8 &+ 0.2 - 0.5 + 2.6 - 0.7 \\
 +9 &+ 0.2 - 0.1 + 2.6 - 0.1 \\
 +10 &+ 0.2 - 0.0 + 2.4 - 0.0 \\
 +11 &+ 0.2 + 0.1 + 2.1 + 0.0 \\
 +12 &+ 0.2 - 0.0 + 2.4 - 0.0 \\
 +13 &+ 0.2 + 0.2 + 2.2 - 1.0 \\
 +14 &+ 0.2 + 0.4 + 2.3 - 2.0 \\
 +15 &+ 0.2 - 0.0 + 2.4 - 1.3 \\
 +16 &+ 0.2 - 0.1 + 2.6 - 0.3 \\
 +17 &+ 0.2 + 1.0 + 3.5 + 1.5 \\
 +18 &+ 0.3 + 2.4 + 0.2 + 3.8 \\
 +19 &+ 0.3 + 0.7 + 5.1 + 1.6 \\
 +20 &+ 0.3 - 0.3 + 3.1 - 1.8 \\
 +21 &+ 0.3 + 0.7 + 1.0 - 5.3 \\
 +22 &+ 0.3 + 2.2 - 0.4 - 7.2
 \end{aligned}$$

+ 0.2

+0.100000198 + i +0.977630358 - 2 +0.454545455 - 999

+ 0.1 + 0.1

+ 1.5 + 1.9

$$\begin{aligned}
 +1 &- 1.3 + 1.4 - 3.2 \\
 +2 &- 0.6 + 0.3 - 1.6 \\
 +3 &- 0.3 - 0.6 + 1.8 \\
 +4 &- 0.9 - 1.1 + 3.6 \\
 +5 &- 0.3 - 0.7 + 1.6 \\
 +6 &- 0.3 - 0.5 + 0.5 \\
 +7 &- 0.3 - 0.5 - 0.3 \\
 +8 &- 1.1 + 0.2 - 2.4 \\
 +9 &- 0.7 + 0.0 - 1.8 \\
 +10 &- 0.4 - 0.1 - 0.7 \\
 +11 &- 0.3 - 0.3 + 0.1 \\
 +12 &- 0.2 + 0.1 + 0.7 \\
 +13 &+ 0.2 - 0.1 + 0.8 \\
 +14 &+ 0.5 - 0.0 + 0.2 \\
 +15 &- 0.1 - 0.0 + 0.1 \\
 +16 &- 0.3 + 0.1 + 0.2 \\
 +17 &+ 0.5 + 0.7 + 0.3 \\
 +18 &+ 2.1 + 3.2 + 3.4 \\
 +19 &+ 0.5 + 2.2 + 2.1 \\
 +20 &- 0.3 + 0.3 + 0.0 \\
 +21 &+ 0.9 - 1.7 - 2.3 \\
 +22 &+ 2.5 - 2.9 - 3.4
 \end{aligned}$$

Quelles que soient alors les valeurs que nous attribuons aux paramètres  $k_1 \dots k_5$ , les grandeurs  $T_1 \dots T_5$  vérifient toujours l'équation (1). En se servant des paramètres  $k_1 \dots k_5$ , on a donc la possibilité de choisir un point quelconque sur l'ellipsoïde d'erreur (1) et de calculer ensuite la déformation correspondante de l'image plastique. Mais cette solution ne nous donne cependant pas encore entière satisfaction, étant donné que les paramètres  $k_1 \dots k_5$  n'admettent aucune interprétation concrète. Cet inconvénient peut être supprimé comme il suit: on cherche d'abord à calculer 5 états de déformation fondamentaux de l'image plastique qui sont par définition tels que dans chacun d'eux une seule des différentielles  $d\kappa, d\varphi, d\omega, dby, dbz$  est différente de zéro. On est ainsi amené à résoudre 5 systèmes d'équations linéaires dont chacun comporte 5 inconnues. Une fois cette résolution effectuée, on peut alors calculer n'importe quel état de déformation comme combinaison linéaire des 5 états fondamentaux. Ceci nous permet alors d'introduire un état de déformation au moyen de 5 paramètres  $m_1 \dots m_5$  dont chacun agit essentiellement sur l'une des variables d'orientation, et ceci d'après le schéma suivant:

$$\begin{array}{ccccc} m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ d\kappa & d\varphi & d\omega & dby & dbz \end{array} \quad (3)$$

Nous pouvons donc, au moyen de ces paramètres, influencer la valeur numérique de la différentielle correspondante. Si la valeur d'un paramètre augmente, il en est de même de l'importance numérique de la variable d'orientation associée et si un paramètre est nul, la différentielle associée l'est également. Le tableau VI nous montre quelques exemples numériques pour le couple N° 3.

#### § 4. Intervention de l'orientation absolue

Nous avons vu plus haut que les erreurs d'orientation relative introduisent une déformation de l'image plastique qui peut être éliminée, du moins partiellement, par l'orientation absolue. Pour mettre cette dernière propriété en évidence, nous allons procéder comme il suit:

Lors de la mesure des parallaxes verticales, nous enregistrons sur la bande perforée également les coordonnées  $X, Y, Z$  des points observés. Ces coordonnées définissent donc une image spatiale que nous pouvons admettre comme exempte d'erreurs, puisqu'elle doit uniquement servir à l'étude des variations qui résultent des accroissements que nous attribuons aux éléments d'orientation. Ainsi, les coordonnées  $X, Y, Z$  fournies par le EK3 seront considérées comme rigoureusement exactes, et elles définissent par conséquent une *image plastique exempte d'erreurs*. En attribuant maintenant des accroissements aux éléments d'orientation, nous obtenons une *image plastique déformée*. Nous allons alors orienter cette dernière par rapport à l'image plastique initiale. Pour cela, nous introduisons par voie numérique:

- a) un changement d'échelle,
- b) trois rotations et
- c) trois translations.

Ceci étant fait, il nous reste aux points observés les erreurs résiduelles  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$ . Vu que l'orientation absolue, envisagée sous cet angle, est une opération purement mathématique, elle peut être effectuée de différentes façons. Nous avons d'abord compensé la planimétrie en faisant intervenir:

- 1° le changement d'échelle,
- 2° une rotation  $d\alpha$  autour de l'axe des  $Z$ ,
- 3° les translations suivant  $X$  et  $y$

pour rendre la somme  $[v_x v_x] + [v_y v_y]$  minimum.

La quantité

$$f_s = \sqrt{\frac{[v_x v_x] + [v_y v_y]}{n}},$$

où  $n$  désigne le nombre des points observés lors de la mesure des parallaxes verticales, nous donne alors une idée des erreurs résiduelles planimétriques. Nous appellerons cette grandeur *erreur planimétrique moyenne du couple*. Pour la compensation des altitudes, nous tenons alors compte du changement d'échelle déjà calculé, et il nous reste dès lors trois inconnues, à savoir:

- 1° les rotations  $\varphi$  et  $\omega$ ,
- 2° une translation dans la direction des  $Z$ ,

que nous calculons de façon qu'on ait

$$[v_Z v_Z] = \text{minimum}.$$

Comme pour la planimétrie, nous définissons alors *l'erreur altimétrique moyenne  $f_Z$  du couple* par la formule

$$f_Z = \sqrt{\frac{[v_Z v_Z]}{n}}.$$

Le tableau VI donne quelques valeurs numériques de  $f_s$  et  $f_Z$  pour le couple N° 3.

Nous avons calculé une quarantaine d'états pour chacun des quatre exemples, mais comme il n'est pas possible de reproduire ici tous ces résultats, nous avons indiqué sur des graphiques figurant aux tableaux II à V les grandeurs importantes que nous allons analyser ci-après.

### *§ 5. Conclusion d'ordre pratique*

Dans ce qui suit, nous nous occuperons essentiellement des erreurs altimétriques, car ce sont elles qui jouent le rôle le plus important lors

de l'établissement de plans topographiques. En mensuration cadastrale, par contre, ce sont les erreurs planimétriques qui importent, mais cette étude reste encore à faire.

En examinant les états fondamentaux des 4 exemples traités, on constate que les erreurs  $dby$  et  $dbz$  n'entraînent pratiquement aucune déformation de l'image plastique. L'erreur de déversement  $d\kappa$  peut dans certains cas donner lieu à des déformations altimétriques non négligeables, mais nous ne les avons pas encore étudiées de plus près, étant donné que les déformations altimétriques les plus importantes proviennent incontestablement de  $d\varphi$  et  $d\omega$ . Mais les valeurs que nous pouvons attribuer à  $d\varphi$  dépendent essentiellement de celles de  $dbz$ . On en tient compte en prenant comme paramètres:

$$\begin{array}{ccccc} m_1 = 0 & m_2 = 1 & m_3 = 0 & m_4 = 0 & m_5 = \text{variable} \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ d\kappa & d\varphi & d\omega & dby & dbz \end{array}$$

Vu que la valeur de  $d\omega$  dépend surtout de  $dby$ , on prendra dans ce cas:

$$\begin{array}{ccccc} m_1 = 0 & m_2 = 0 & m_3 = 1 & m_4 = \text{variable} & m_5 = 0 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ d\kappa & d\varphi & d\omega & dby & dbz \end{array}$$

Le résultat de ces calculs est indiqué par les graphiques des tableaux II à V. Ces figures nous montrent que l'erreur altimétrique moyenne  $f_Z$  ne dépend pratiquement ni de  $dbz$  ni de  $dby$ . L'erreur planimétrique moyenne  $f_s$ , par contre, est légèrement influencée par ces variables. Il est particulièrement intéressant de constater que dans l'exemple N° 2, où la configuration du terrain est très défavorable pour l'orientation relative, les erreurs altimétriques moyennes sont beaucoup plus fortes que dans l'exemple N° 3. Mais ce qu'il y a d'étonnant, c'est que cette forte erreur provient de  $d\varphi$  et non pas de  $d\omega$  comme on l'aurait supposé à priori.

Finalement, nous avons encore calculé pour chacun des couples les valeurs maxima et minima de la déformation altimétrique  $v_Z$ , afin de se rendre compte dans quelle mesure on peut, lors de la restitution, varier la valeur des variables d'orientation pour éliminer une déformation donnée, sans introduire pour cela des parallaxes verticales gênantes. Ces résultats sont également indiqués par des graphiques figurant dans les tableaux II à V. Nous constatons ainsi que les programmes développés permettent d'étudier complètement la déformation de l'image plastique dans n'importe quel cas et qu'ils nous donnent de ce fait de nombreux renseignements pour la restitution de plans topographiques, d'une part, et pour les travaux de triangulation aérienne, d'autre part.

### *S 6. Perspectives d'avenir*

Nous avons déjà fait remarquer plus haut que ces recherches sont loin d'être terminées, et nous nous en excusons. Avant de pouvoir

conclure définitivement, il y aurait lieu d'étendre les mesures à un plus grand nombre de couples. Le programme pour l'orientation relative et absolue par voie numérique, dont nous avons dit quelques mots au début, rendra sans doute de grands services pour la restitution de couples à fortes différences d'altitude.

Les développements théoriques ayant trait à la déformation de l'image plastique accusent encore quelques lacunes, ceci notamment en ce qui concerne le calcul des déformations maxima. Il y aurait lieu d'y introduire la méthode de calcul des valeurs propres («Eigenwertproblem») ou de procéder à des réductions successives de l'ellipsoïde d'erreur moyenne par rapport aux différentes variables.

Un dernier point important, qui n'a pas été traité ici, est celui de la précision avec laquelle on peut introduire à l'autographe les valeurs calculées des éléments d'orientation; une précision insuffisante aurait en effet pour conséquence de rendre toute méthode d'orientation numérique pratiquement inutilisable. Je puis cependant vous rassurer, car les essais préliminaires que nous avons effectués ont montré que ces doutes sont injustifiés puisque, contre toute attente, l'introduction des variables angulaires peut se faire avec une précision d'environ 20 à 30<sup>cc</sup>. Dans les applications pratiques, cette précision pourrait encore être augmentée moyennant un petit artifice.

Un autre point mériteraient encore d'être examiné de plus près. Comme les formules développées donnent la déformation de l'image plastique, elles pourraient également être utilisées pour le contrôle de l'état d'ajustage de l'appareil de restitution. Cette méthode nous donnerait, sans grand effort, de nombreux renseignements sur l'état d'ajustage qu'on ne peut se procurer autrement. Nous irions même plus loin en affirmant que ces programmes de calcul permettraient de simplifier considérablement les opérations d'ajustage d'un appareil de restitution.

## Das schöne Landschaftsbild

**VLP.** Die Gemeindeversammlung von Bremgarten bei Bern erließ 1959 für ein Hanggebiet der «Halen» im Dorfteil Stuckishaus Schutzvorschriften. Dieses Hanggebiet darf wohl überbaut werden. Dagegen werden die Ausbeutung von Sand und Kies untersagt und alle anderen Abgrabungen und Ausfüllungen verboten, die das Landschaftsbild wesentlich beeinträchtigen würden. Größere Baumgruppen, Feldgehölze, Lebhecken und Wälder dürfen zudem nur mit Zustimmung des Gemeinderates abgeholt werden. Nur auf zwei Grundstücken darf wie bisher weiterhin Sand und Kies gewonnen werden.

Der Regierungsrat des Kantons Bern genehmigte diese Schutzvorschriften. Dagegen wandte sich eine Anzahl von Grundeigentümern mit einer staatsrechtlichen Beschwerde an das Bundesgericht. Sie hielten dafür, die Schutzvorschriften seien für ein Gebiet erlassen worden, das