Méthode numérique d'orientation de vues aériennes quelconques dans un stéréorestituteur[1]

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 ω 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 9e 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° Recherche d'une méthode d'orientation relative numérique donnant *automatiquement* la valeur des éléments d'orientation à partir

[1] 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 EK3. 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° 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° 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° l'erreur moyenne μ à craindre sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché;

2° la valeur compensée des éléments d'orientation, ainsi que leurs erreurs moyennes;

3° 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 EK3, accouplé à l'autographe A7, l'enregistrement est presque automatique. En effet, il suffit de placer sur le clavier du pupitre de commande du EK3, 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 EK3 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[1].

Notons que les couples N^{os} 0 et 1 sont formés par des *vues à basse altitude* prises avec un objectif Aviogon $f = 15$ cm sur film 24×24 cm. Les couples N^{os} 2 et 3, par contre, sont constitués par des vues prises à haute altitude avec un objectif Aviogon $f = 10$ cm sur plaques 15×15 cm. L'angle d'ouverture des deux objectifs est pratiquement le même. Dans le couple N^{o} 0, le terrain est accidenté, tandis qu'il est plat dans le couple N^{o} 1. Les deux couples N^{os} 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^{o} 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:

$$\mu_\kappa = \pm 0{,}^c4 \text{ à } \pm 0{,}^c6$$
$$\mu_\varphi = \pm 0{,}^c9 \text{ à } \pm 1{,}^c5$$
$$\mu_\omega = \pm 0{,}^c6 \text{ à } \pm 1{,}^c4$$

---

[1] *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 No I

ERREURS MOYENNES DES ÉLÉMENTS D'ORIENTATION.

	Modèles			
	Basse Altitude		Haute Altitude	
	No 0 film 24×24	No 1 film 24×24	No 2 plaque 15×15	No 3 plaque 15×15
μ en 1/100 mm.	± 1.79	± 1.43	± 1.01	± 1.05
μ^c_κ	± 0.56	± 0.40	± 0.43	± 0.45
μ^c_φ	± 1.45	± 0.95	± 0.96	± 1.00
μ^c_ω	± 1.43	± 0.84	± 1.23	± 0.56
μ_{by} en 1/100 mm.	± 7.48	± 4.08	± 6.53	± 2.70
μ_{bz} en 1/100 mm.	± 2.20	± 1.40	± 1.73	± 1.82

No 149/3 — Institut de Photogrammétrie EPUL

tandis que nous avons pour les variables linéaires:

$$\mu_{by} = \pm 2{,}7 \text{ à } \pm 7{,}5 \ (^1/_{100}\,\text{mm})$$
$$\mu_{bz} = \pm 1{,}4 \text{ à } \pm 2{,}2 \ (^1/_{100}\,\text{mm})$$

2° 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° L'erreur moyenne μ à craindre sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché varie entre

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

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° Les coefficients de dépendance sont tous, à l'exception de celui de ω et by, voisins de l'unité. Il en résulte que les variables d'orientation sont à peu près indépendantes à l'exception de ω 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 Nos 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 des 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 $d\kappa$, $d\varphi$, $d\omega$, dby, dbz en fonction de nouvelles variables $T_1 \ldots T_5$, 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:

$$\left(\frac{T_1}{\mu_{T1}}\right)^2 + \ldots + \left(\frac{T_5}{\mu_{T5}}\right)^2 = 1 \tag{1}$$

où $\mu_{T1} \ldots \mu_{T5}$ désignent les erreurs moyennes à craindre sur $T_1 \ldots T_5$.

Par conséquent, les 5 variables $T_1 \ldots T_5$ 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 $T_1 \ldots T_5$. Cette difficulté peut être surmontée par l'introduction de 5 paramètres $k_1 \ldots k_5$, liés aux variables $T_1 \ldots T_5$ par les formules

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{k_1}{\sqrt{[k^2]}} \cdot \mu_{T1} \\ &\vdots \\ T_5 &= \frac{k_5}{\sqrt{[k^2]}} \cdot \mu_{T5} \end{aligned} \tag{2}$$

TABLEAU № II

Exemple № 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 : № 404.1

---

② Entreprise № 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 / ~~extérieure~~} — Echelle des vues : 1/5600

Echelle de l'image plastique : 1/3000

---

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

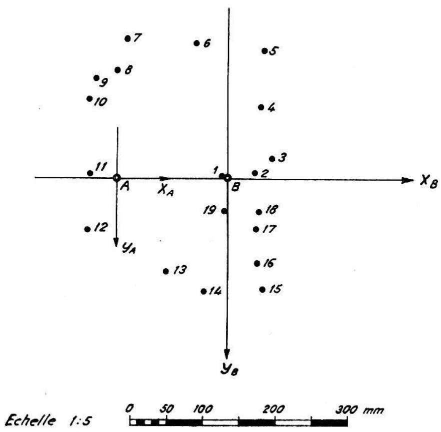


TABLEAU № III

Exemple № 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 : № 404.1

---

② Entreprise № 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.

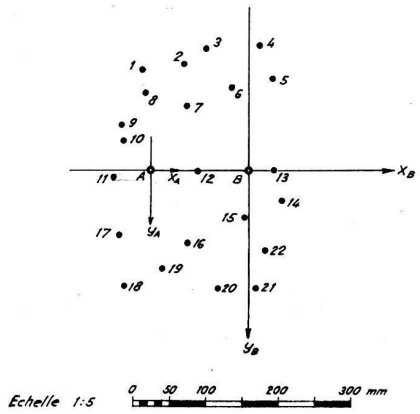
Configuration géométrique du terrain : plat

Base : {intérieure / ~~extérieure~~} — Echelle des vues : 1/4750

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 1/100 mm. = Erreur moyenne à craindre sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché.

$\mu_\kappa = \pm$ 0.56
$\mu_\varphi = \pm$ 1.45
$\mu_\omega = \pm$ 1.43
} Erreurs moyennes en minutes centésimales

$\mu_{by} = \pm$ 7.48
$\mu_{bz} = \pm$ 2.20
} Erreurs moyennes en 1/100 mm.

B) COEFFICIENTS DE DÉPENDANCE :

$$d^2_{\alpha\beta} = \frac{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta} - Q^2_{\alpha\beta}}{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta}}$$

$d^2_{\alpha\beta}$	φ	ω	by	bz
κ	+0.8953	+0.9459	+0.9275	+0.9640
φ		+0.9353	+0.9471	+0.8517
ω			+0.0133	+0.9270
by				+0.9204

Unités :
$\kappa . \varphi . \omega$: 1 gr
by . bz . μ : 1 mm.

C) ERREURS MOYENNES DES COORDONNÉES RESTITUÉES

Nº	μ_x cm.	μ_y cm.	μ_z cm.
1	± 18.56	± 1.92	± 37.28
2	± 25.93	± 2.23	± 39.59
3	± 30.43	± 4.37	± 41.82
4	± 28.35	± 14.58	± 40.96
5	± 30.90	± 28.66	± 43.35
6	± 14.46	± 25.14	± 35.01
7	± 1.71	± 28.09	± 40.32
8	± 0.26	± 23.55	± 45.44
9	± 5.45	± 22.92	± 48.45
10	± 7.28	± 18.66	± 48.21
11	± 6.68	± 3.06	± 46.60
12	± 7.78	± 11.47	± 50.96
13	± 9.13	± 15.80	± 35.94
14	± 14.45	± 18.35	± 31.87
15	± 24.33	± 20.09	± 32.24
16	± 23.83	± 15.72	± 33.93
17	± 25.32	± 10.23	± 38.32
18	± 26.55	± 7.21	± 40.25
19	± 19.67	± 6.35	± 38.69
20			
21			
22			
23			
24			
25			

④ ORIENTATION RELATIVE

A) ERREURS MOYENNES DES VARIABLES D'ORIENTATION

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

$\mu_\kappa = \pm$ 0.40
$\mu_\varphi = \pm$ 0.95
$\mu_\omega = \pm$ 0.84
} Erreurs moyennes en minutes centésimales

$\mu_{by} = \pm$ 4.08
$\mu_{bz} = \pm$ 1.40
} Erreurs moyennes en 1/100 mm.

B) COEFFICIENTS DE DÉPENDANCE :

$$d^2_{\alpha\beta} = \frac{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta} - Q^2_{\alpha\beta}}{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta}}$$

$d^2_{\alpha\beta}$	φ	ω	by	bz
κ	+0.9926	+0.9488	+0.8958	+0.9931
φ		+0.9316	+0.9294	+0.4996
ω			+0.0246	+0.9656
by				+0.9663

Unités :
$\kappa . \varphi . \omega$: 1 gr
by . bz . μ : 1 mm.

C) ERREURS MOYENNES DES COORDONNÉES RESTITUÉES

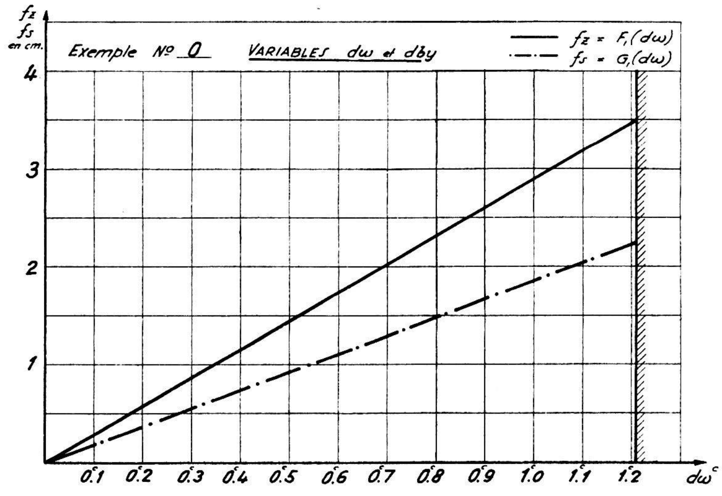
Nº	μ_x cm.	μ_y cm.	μ_z cm.
1	± 1.25	± 13.81	± 23.27
2	± 4.06	± 12.46	± 19.65
3	± 6.47	± 13.92	± 19.52
4	± 12.36	± 15.07	± 19.86
5	± 14.21	± 11.66	± 20.92
6	± 9.12	± 9.70	± 19.67
7	± 4.44	± 7.95	± 21.10
8	± 0.73	± 10.76	± 25.15
9	± 4.76	± 7.28	± 29.16
10	± 4.29	± 4.90	± 27.04
11	± 6.08	± 1.68	± 28.42
12	± 5.61	± 1.18	± 21.41
13	± 14.64	± 1.72	± 21.42
14	± 16.19	± 4.02	± 22.35
15	± 10.83	± 5.58	± 20.85
16	± 4.45	± 8.66	± 21.73
17	± 4.92	± 9.44	± 27.59
18	± 4.06	± 16.68	± 27.14
19	± 1.53	± 12.34	± 22.96
20	± 7.60	± 13.93	± 19.35
21	± 12.40	± 15.17	± 20.32
22	± 13.47	± 10.04	± 20.36
23			
24			
25			

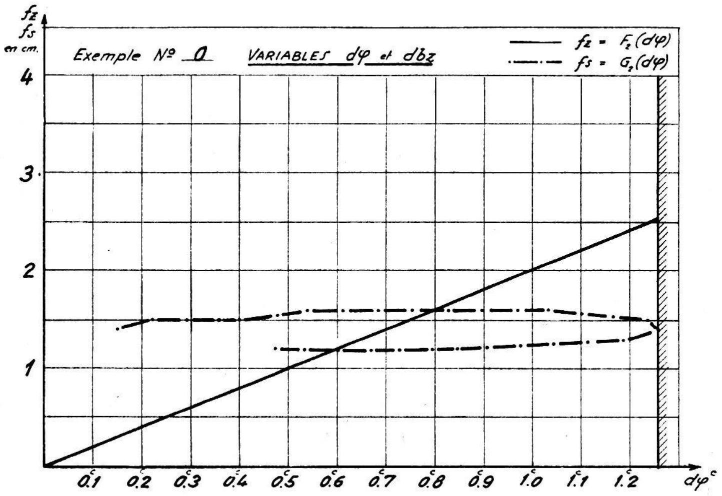
⑤ ORIENTATION ABSOLUE

A) VALEUR MOYENNE DES ERREURS RÉSIDUELLES PLANIMÉTRIQUES ET ALTIMÉTRIQUES

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

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



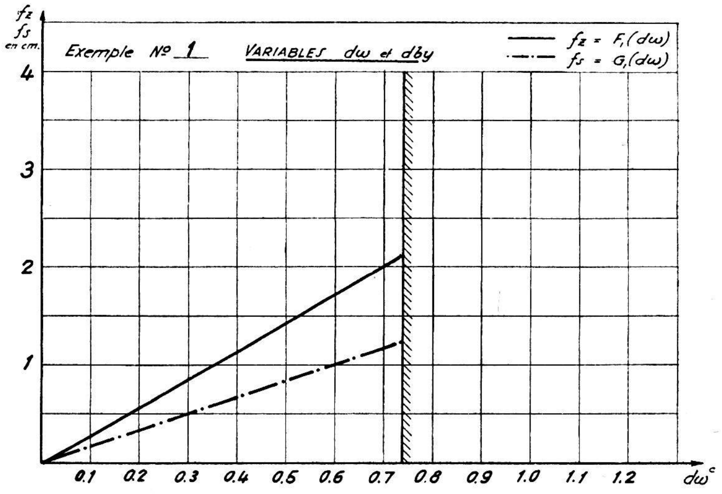


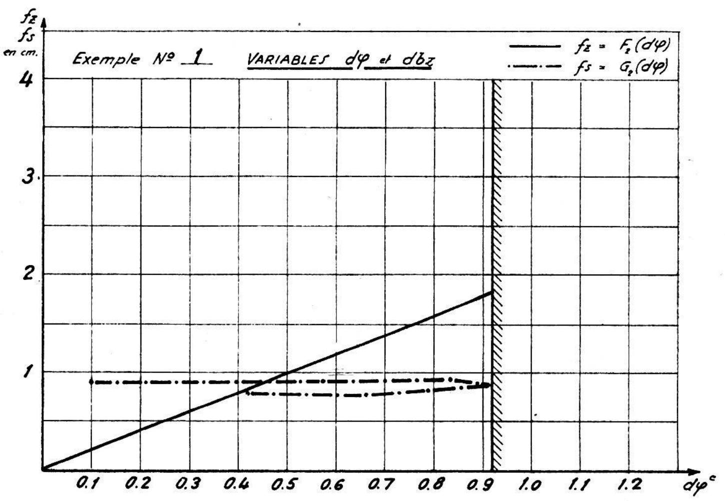
⑤ ORIENTATION ABSOLUE

A) VALEUR MOYENNE DES ERREURS RÉSIDUELLES PLANIMÉTRIQUES ET ALTIMÉTRIQUES

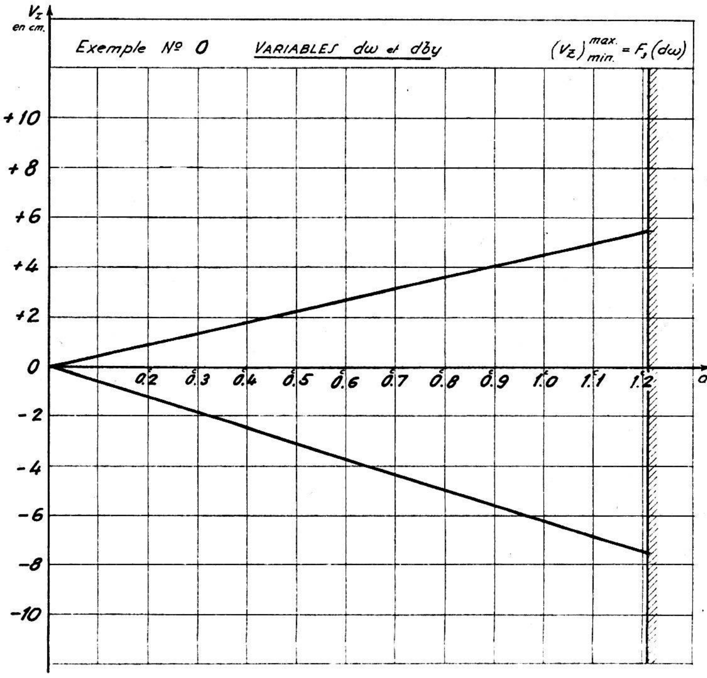
Altimétrie : $f_z = \sqrt{\dfrac{[V_z V_z]}{n}}$

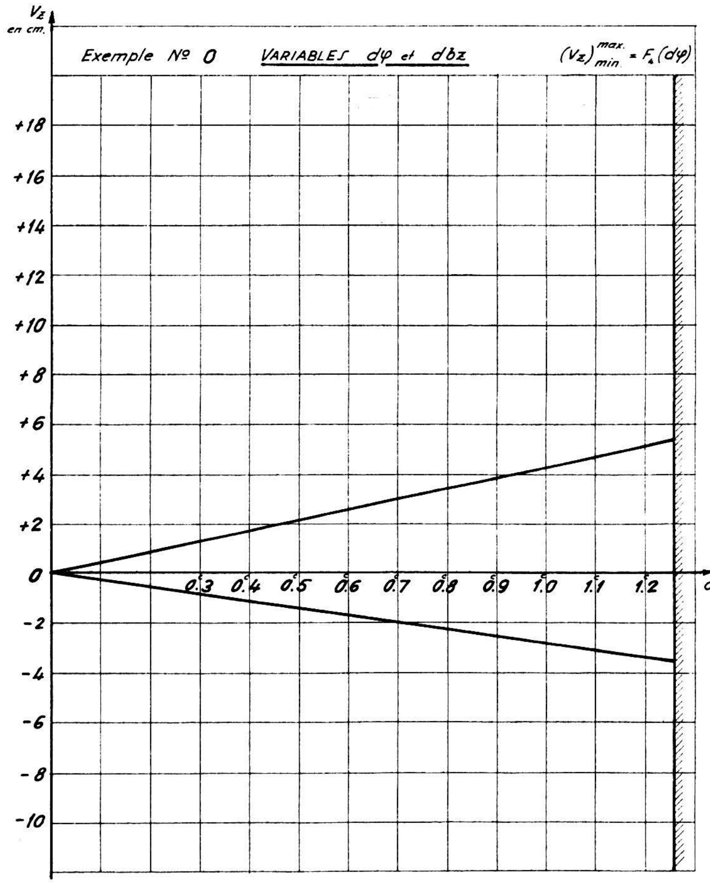
Planimétrie : $f_s = \sqrt{\dfrac{[V_x V_x] + [V_y V_y]}{n}}$



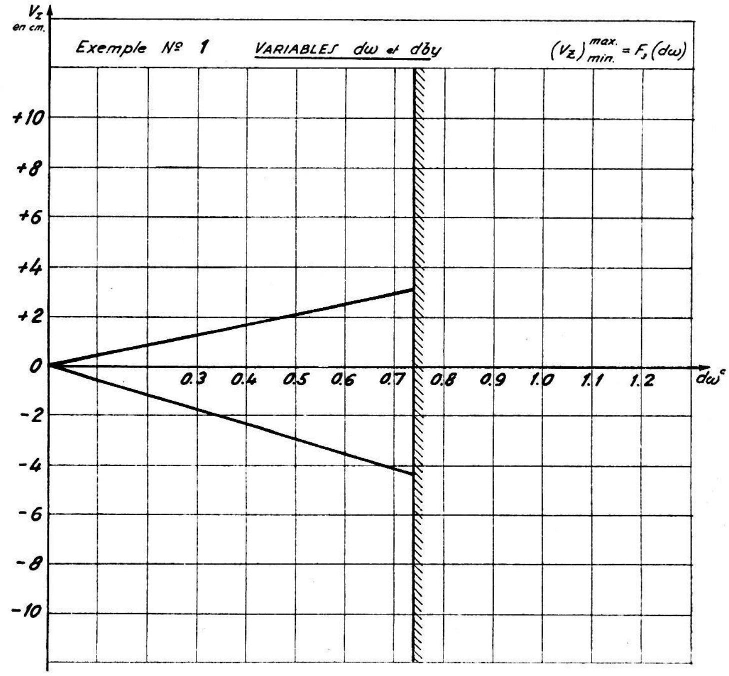


B) ERREURS RÉSIDUELLES ALTIMÉTRIQUES EXTRÊMES





B) ERREURS RÉSIDUELLES ALTIMÉTRIQUES EXTRÊMES :



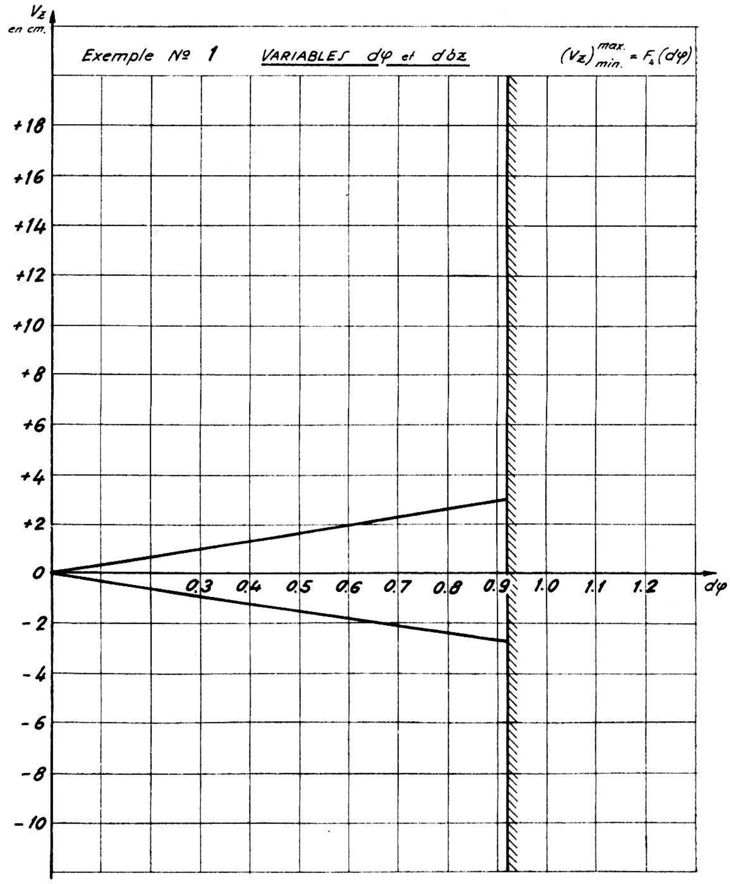


TABLEAU Nº IV

Exemple Nº 2 Institut de Photogrammétrie E.P.U.L.

ORIENTATION RELATIVE NUMÉRIQUE

(CONNEXION DE LA CHAMBRE B.)

① Appareil de restitution : AUTOGRAPHE WILD A7

Opérateur : Howald Date : Juillet 1958

Calculatrice : ZEBRA Programme de calcul : Nº 404·1

② Entreprise Nº 1 ZERMATT Couple : 27/12.13

Vues normales Support : { ~~films~~ plaques } Format : 15 × 15 cm

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

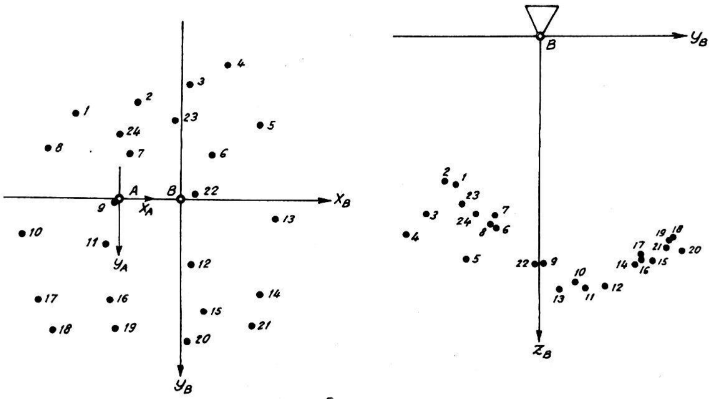
Hauteur de vol sur sol : 2800 m

Configuration géométrique du terrain : Cylindre dangereux

Base : { intérieure ~~extérieure~~ } Echelle des vues : 1/28000

Echelle de l'image plastique : 1/10000

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



Echelle 1:5   0 50 100 200 300 mm

④

TABLEAU Nº V

Exemple Nº 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 : Nº 404·1

② Entreprise Nº 106.3 ST. NICOLAS Couple : 68/6.5

Vues normales Support : { ~~films~~ plaques } Format : 15 × 15 cm

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

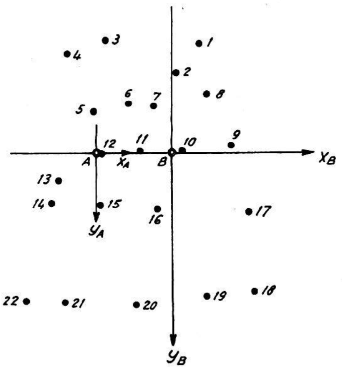
Hauteur de vol sur sol : 2500 m.

Configuration géométrique du terrain : très accidenté

Base : { intérieure ~~extérieure~~ } Echelle des vues : 1/25000

Echelle de l'image plastique : 1/10000

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



Echelle 1:5   0 50 100 200 300 mm

④

④ ORIENTATION RELATIVE

A) ERREURS MOYENNES DES VARIABLES D'ORIENTATION

$\mu = \pm$ 1.01 1/100 mm. = Erreur moyenne à craindre sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché.

$\mu_{\kappa} = \pm$ 0.43
$\mu_{\varphi} = \pm$ 0.96
$\mu_{\omega} = \pm$ 1.23
} Erreurs moyennes en minutes centésimales

$\mu_{by} = \pm$ 6.53
$\mu_{bz} = \pm$ 1.73
} Erreurs moyennes en 1/100 mm.

B) COEFFICIENTS DE DÉPENDANCE :

$$d^2_{\alpha\beta} = \frac{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta} - Q^2_{\alpha\beta}}{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta}}$$

$d^2_{\alpha\beta}$	φ	ω	by	bz
κ	+0.8870	+0.7529	+0.7269	+0.9104
φ		+0.7776	+0.7769	+0.9986
ω			+0.0084	+0.5573
by				+0.5502

Unités :
$\kappa . \varphi , \omega$: 1 gr
by. bz. μ : 1 mm.

C) ERREURS MOYENNES DES COORDONNÉES RESTITUÉES

Nº	μ_x cm.	μ_y cm.	μ_z cm.
1	± 38.18	± 68.67	± 127.86
2	± 9.68	± 51.65	± 80.10
3	± 38.14	± 63.36	± 97.36
4	± 67.27	± 87.14	± 123.82
5	± 107.51	± 59.98	± 169.96
6	± 57.68	± 31.27	± 118.66
7	± 6.73	± 31.26	± 115.29
8	± 71.80	± 47.43	± 187.22
9	± 3.87	± 4.28	± 184.18
10	± 110.20	± 41.01	± 276.47
11	± 11.80	± 41.73	± 226.50
12	± 63.04	± 57.67	± 216.05
13	± 152.44	± 19.17	± 245.18
14	± 138.04	± 95.20	± 221.15
15	± 72.26	± 97.40	± 188.74
16	± 7.14	± 81.48	± 181.10
17	± 78.48	± 95.19	± 210.70
18	± 57.85	± 111.65	± 175.58
19	± 2.71	± 96.57	± 151.70
20	± 56.19	± 119.79	± 174.26
21	± 128.30	± 126.42	± 201.87
22	± 57.22	± 6.87	± 170.50
23	± 29.23	± 43.65	± 89.05
24	± 0.08	± 43.78	± 120.34
25			

④ ORIENTATION RELATIVE

A) ERREURS MOYENNES DES VARIABLES D'ORIENTATION

$\mu = \pm$ 1.05 1/100 mm. = Erreur moyenne à craindre sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché.

$\mu_{\kappa} = \pm$ 0.45
$\mu_{\varphi} = \pm$ 1.00
$\mu_{\omega} = \pm$ 0.56
} Erreurs moyennes en minutes centésimales

$\mu_{by} = \pm$ 2.70
$\mu_{bz} = \pm$ 1.82
} Erreurs moyennes en 1/100 mm.

B) COEFFICIENTS DE DÉPENDANCE :

$$d^2_{\alpha\beta} = \frac{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta} - Q^2_{\alpha\beta}}{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta}}$$

$d^2_{\alpha\beta}$	φ	ω	by	bz
κ	+0.9732	+0.9938	+0.9537	+0.9980
φ		+0.9999	+0.9999	+0.8260
ω			+0.0636	+0.7338
by				+0.6928

Unités :
$\kappa . \varphi , \omega$: 1 gr
by. bz. μ : 1 mm.

C) ERREURS MOYENNES DES COORDONNÉES RESTITUÉES

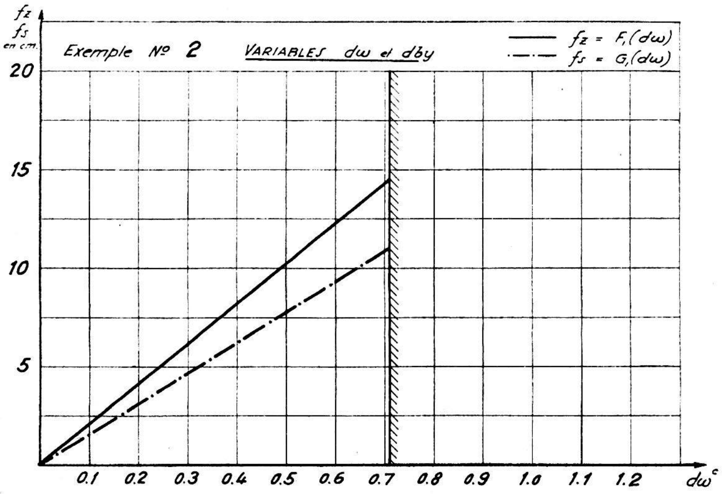
Nº	μ_x cm.	μ_y cm.	μ_z cm.
1	± 49.55	± 56.78	± 78.09
2	± 33.93	± 36.29	± 64.32
3	± 4.97	± 57.24	± 88.63
4	± 18.68	± 58.91	± 107.86
5	± 1.61	± 18.69	± 63.48
6	± 13.02	± 20.02	± 56.45
7	± 20.86	± 18.02	± 48.26
8	± 54.74	± 31.71	± 82.27
9	± 86.38	± 7.49	± 131.33
10	± 45.90	± 4.20	± 102.51
11	± 20.58	± 4.18	± 80.71
12	± 2.65	± 3.80	± 110.05
13	± 26.43	± 19.56	± 126.67
14	± 34.64	± 37.40	± 158.68
15	± 1.87	± 33.18	± 129.39
16	± 35.23	± 33.34	± 117.91
17	± 114.80	± 47.08	± 175.17
18	± 131.28	± 121.18	± 205.02
19	± 83.88	± 113.73	± 190.72
20	± 29.04	± 114.11	± 185.20
21	± 27.89	± 122.92	± 207.91
22	± 67.29	± 132.23	± 220.50
23			
24			
25			

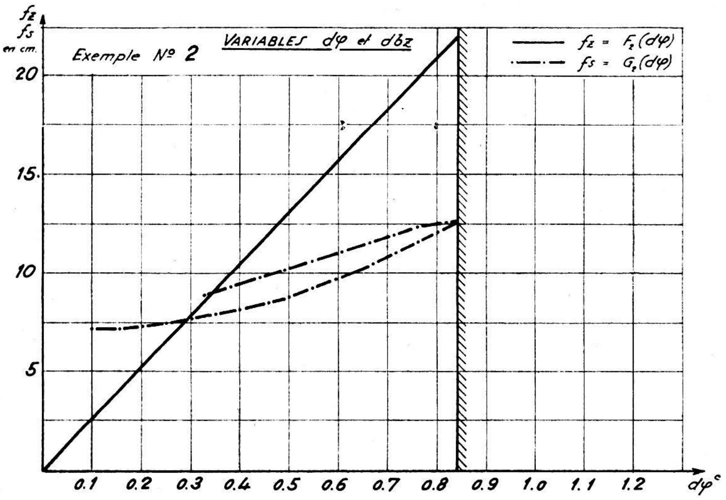
⑤ ORIENTATION ABSOLUE

A) VALEUR MOYENNE DES ERREURS RÉSIDUELLES PLANIMÉTRIQUES ET ALTIMÉTRIQUES

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

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



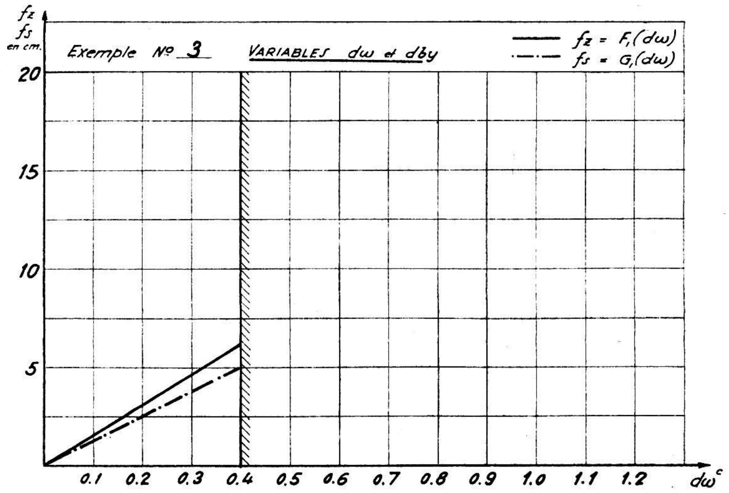


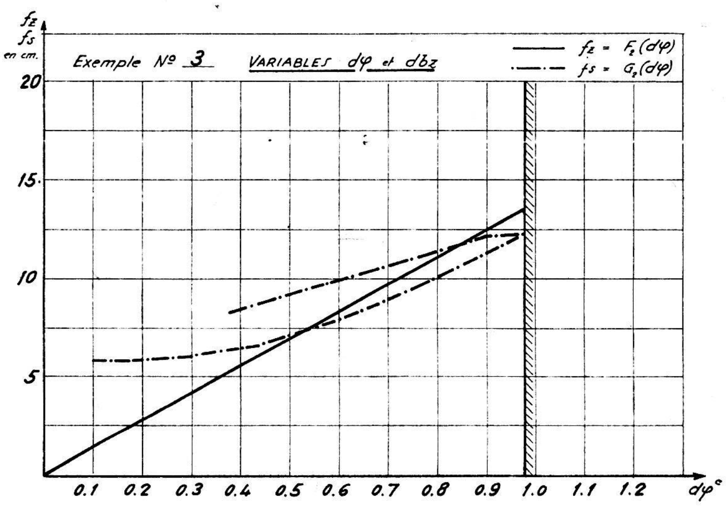
⑤ ORIENTATION ABSOLUE

A) VALEUR MOYENNE DES ERREURS RÉSIDUELLES PLANIMÉTRIQUES ET ALTIMÉTRIQUES

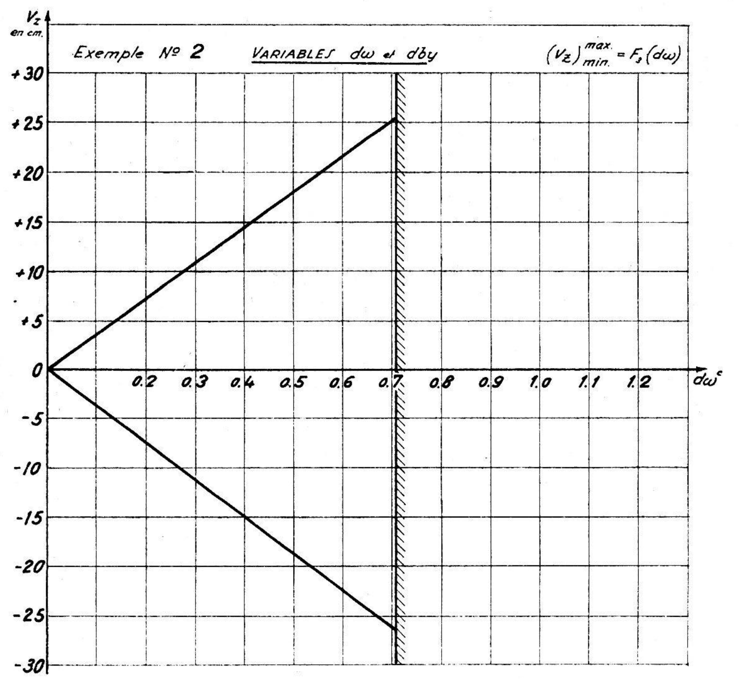
Altimétrie : $fz = \sqrt{\frac{[V_z V_z]}{n}}$

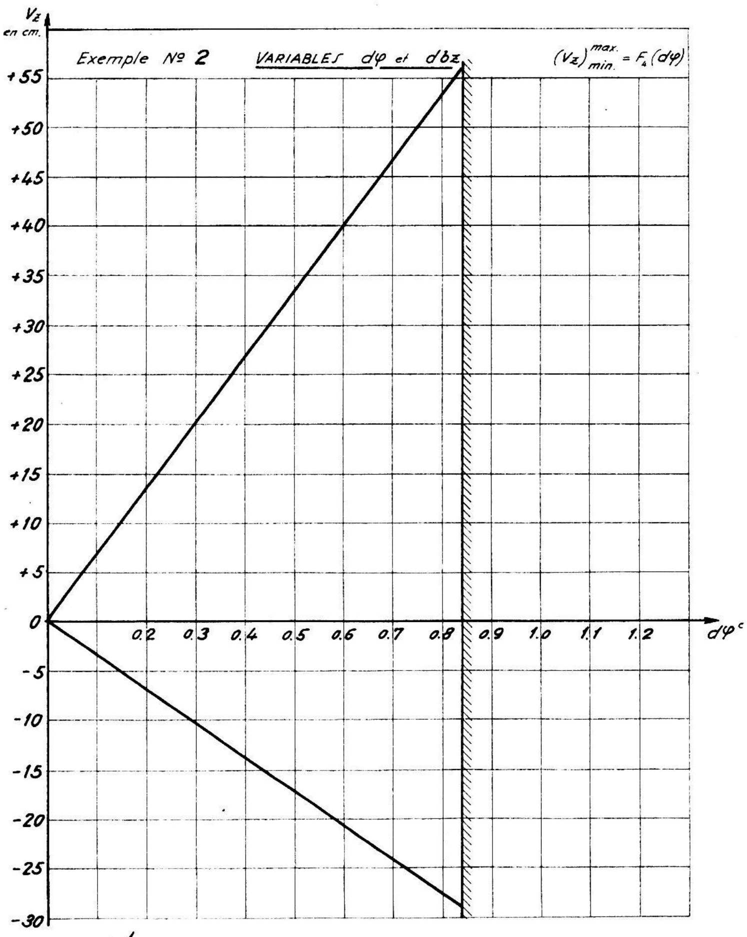
Planimétrie : $fs = \sqrt{\frac{[V_x V_x] + [V_y V_y]}{n}}$



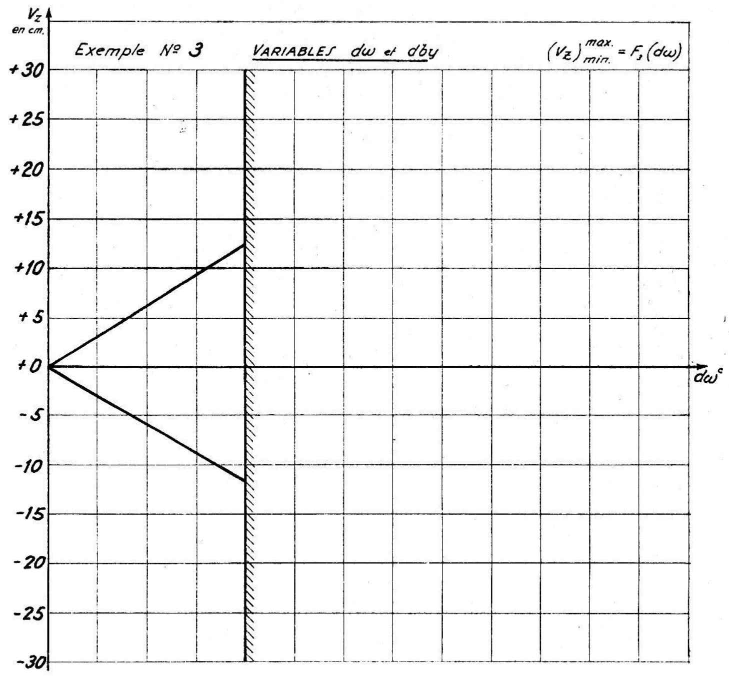


B) ERREURS RÉSIDUELLES ALTIMÉTRIQUES EXTRÊMES





B) ERREURS RÉSIDUELLES ALTIMÉTRIQUES EXTRÊMES



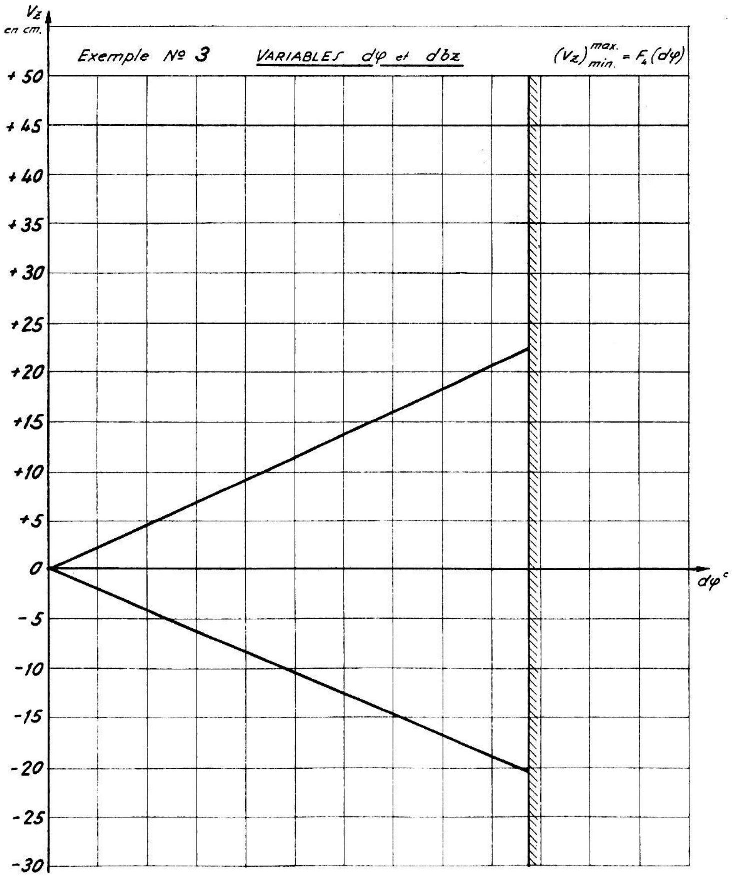


TABLEAU Nº VI

Exemple Nº 3

Institut de Photogrammétrie EPUL
Programme Nº 404.1

ORIENTATION RELATIVE

Nº Entrep.	Clichés: Ligne	Clichés: A	Clichés: B	E (Echelle modèle = 1/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

Conditions initiales

$\kappa_A^{gr.}$	$\kappa_B^{gr.}$	$\varphi_A^{gr.}$	$\varphi_B^{gr.}$	$\omega_A^{gr.}$	$\omega_B^{gr.}$
+400.0000	+400.2000	+ 99.4400	+ 98.7000	+ 99.3500	+ 99.5000

by_A	by_B	bz_A	bz_B	bx	
+100.00	+ 97.30	+100.00	+100.00	+102.00	← (Unité: mm.)

+0.698491931 - 8
+0.232830644 - 9
+1.000000000 -999
+0.232830644 - 7
+1.000000000 -999

$\cong 0$: Contrôle de la résolution des équations normales

Chambre B : Éléments définitifs à introduire

$\kappa_0^{gr.}$	$\varphi_0^{gr.}$	$\omega_0^{gr.}$	$by_0^{mm.}$	$bz_0^{mm.}$
+400.2928	+ 98.7040	+ 99.4978	+ 97.06	+100.02

+ 1.05 $= \pm \mu$ en 1/100 mm. = Erreur moyenne à craindre sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché.

Nº	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.

Q_{ij}	κ	φ	ω	by	bz
κ	+ 0.1835	+ 0.0671	- 0.0180	- 0.2384	- 0.0337
φ	+ 0.0671	+ 0.9168	- 0.0054	- 0.0300	+ 0.6966
ω	- 0.0180	- 0.0054	+ 0.2831	+ 1.3324	+ 0.4789
by	- 0.2384	- 0.0300	+ 1.3324	+ 6.6955	+ 2.5014
bz	- 0.0337	+ 0.6966	+ 0.4789	+ 2.5014	+ 3.0421

Unités: κ, φ, ω : 1^{gr} ; by, bz, μ : 1 mm.

Erreurs moyennes des éléments d'orientation.

+ 0.45 $= \pm \mu_\kappa^c$
+ 1.00 $= \pm \mu_\varphi^c$
+ 0.56 $= \pm \mu_\omega^c$
+ 2.70 $= \pm \mu_{by}$
+ 1.82 $= \pm \mu_{bz}$

(en 1/100 mm)

Coefficients de dépendance

$\kappa\varphi$ + 0.9732	$\kappa\omega$ + 0.9938	$\kappa\, by$ + 0.9537	$\kappa\, bz$ + 0.9980
$\varphi\omega$ + 0.9999	$\varphi\, by$ + 0.9999	$\varphi\, bz$ + 0.8260	
$\omega\, by$ + 0.0636	$\omega\, bz$ + 0.7338		
$by\, bz$ + 0.6928			

$$d^2_{\alpha\beta} = \frac{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta} - Q^2_{\alpha\beta}}{Q_{\alpha\alpha} \cdot Q_{\beta\beta}}$$

ETAT IV

+ 0.0 + 0.0 + 0.0 + 1.0 + 0.0

+ 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

+ 0.2

+0.100000002 + 1 +0.131606204 - 3 +0.698491931 - 11

+ 0.0 - 0.0

+ 0.0 + 0.0

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

ETAT V

+ 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 1.0

+ 5 + 0.00 + 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	- 0.2	- 1.7	+ 0.3	- 7.5
+ 7	- 0.3	- 1.4	- 1.2	- 3.2
+ 8	- 0.2	+ 4.0	- 4.4	+ 6.0
+ 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	+ 0.2	+ 9.0	+ 11.6	+ 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

Nº	Qxx	Qyy	Qzz
1	+ 22.4717	+ 29.5119	+ 55.8253
2	+ 10.5418	+ 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	+ 3.9820	+ 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	+ 3.8771	+ 0.1603	+ 59.6398
12	+ 0.0641	+ 0.1323	+110.8628
13	+ 6.3970	+ 3.5020	+146.8752
14	+ 10.9824	+ 12.8024	+230.5055
15	+ 0.0322	+ 10.0759	+153.2585
16	+ 11.3630	+ 10.1745	+127.2777
17	+120.6409	+ 20.2926	+280.9112
18	+157.7818	+134.4329	+384.8045
19	+ 64.4036	+118.4178	+332.9768
20	+ 7.7195	+119.1949	+313.9904
21	+ 7.1226	+138.3257	+395.7087
22	+ 41.4525	+160.0524	+445.1014

Nº	Qxy	Qxz	Qyz
1	− 25.7183	+ 35.4188	− 40.5359
2	− 11.2589	+ 19.9814	− 21.3408
3	− 2.5956	+ 4.0324	− 46.2857
4	+ 10.0242	− 18.4418	− 57.8846
5	+ 0.2653	− 0.9356	− 10.4595
6	− 2.3401	+ 6.7266	− 10.1490
7	− 3.3480	+ 9.2151	− 7.7479
8	− 15.7560	+ 41.2258	− 23.6804
9	− 4.1205	+103.8555	− 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	− 30.6522	+ 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	+184.0907	+ 74.8474
18	+145.3378	+246.4044	+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

Nº	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	+ 0.9826	+ 0.0000	+ 0.9826
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

Coefficients de poids et de corrélation des coordonnées X Y Z de l'image plastique.

Unité :

1 mm. si μ est exprimé en mm.

Coefficients de dépendance des coordonnées X.Y.Z

$d^2_{xz} \equiv 0$

$d^2_{xy} = d^2_{yz}$

Erreurs moyennes provenant de l'orientation relative

Nº	X_B	Y_B	Z_B	μ_x	μ_y	μ_z
1	+ 37.20	−148.00	+219.40	+ 49.55	+ 56.78	+ 78.09
2	+ 5.89	−109.16	+204.50	+ 33.93	+ 36.29	+ 64.32
3	− 89.29	−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	+ 18.69	+ 63.48
6	− 58.91	− 66.39	+186.88	+ 13.02	+ 20.02	+ 56.45
7	− 25.13	− 62.77	+177.89	+ 20.86	+ 18.02	+ 48.26
8	+ 47.40	− 79.45	+224.54	+ 54.74	+ 31.71	+ 82.27
9	+ 80.47	− 9.59	+277.42	+ 86.38	+ 7.49	+131.33
10	+ 13.10	− 2.74	+257.05	+ 45.90	+ 4.20	+102.51
11	− 44.12	− 2.12	+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	+ 19.56	+126.67
14	−163.29	+ 67.29	+280.79	+ 34.64	+ 37.40	+158.68
15	− 98.03	+ 70.47	+274.02	+ 1.87	+ 33.18	+129.39
16	− 20.34	+ 75.56	+273.30	+ 35.23	+ 33.34	+117.91
17	+103.48	+ 80.03	+313.55	+114.80	+ 47.08	+175.17
18	+111.04	+187.45	+332.70	+131.28	+121.18	+205.02
19	+ 45.70	+194.02	+335.84	+ 83.88	+113.73	+190.72
20	− 49.84	+204.47	+332.66	+ 29.04	+114.11	+185.20
21	−146.35	+200.76	+330.57	+ 27.89	+122.92	+207.91
22	−198.99	+198.67	+317.82	+ 67.29	+132.23	+220.50
Unité : 1 mm.				Unité : 1 cm. Echelle 1:1		

+0.100000427 + 1 +0.168223224 − 1 +0.423328443 − 8

\+ 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	−	0.2
+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 + 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	+	0.2	−	0.0	+	1.7	+	0.9
+6	+	0.2	+	0.1	+	1.9	+	0.6
+7	+	0.2	+	0.1	+	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	+	3.3	+	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

+0.100000163 + 1 +0.801746197 − 2 +0.529160554 − 9

\+ 0.0 + 0.1

\+ 1.2 + 1.5

+1	−	1.1	+	1.2	−	2.7
+2	−	0.5	+	0.2	−	1.3
+3	−	0.2	−	0.5	+	1.5
+4	−	0.8	−	0.9	+	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	+	0.7
+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	+	0.3
+18	+	1.7	+	2.6	+	2.8
+19	+	0.4	+	1.8	+	1.8
+20	−	0.2	+	0.3	+	0.0
+21	+	0.8	−	1.4	−	1.9
+22	+	2.1	−	2.4	−	2.8

CALCUL DES 5 ÉTATS FONDAMENTAUX

ETAT I

m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
+ 1.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0

Nº	$d\kappa^c$	$d\varphi^c$	$d\omega^c$	$dby^{1/100\,mm.}$	$dbz^{1/100\,mm.}$
+ 1	+ 0.36	− 0.00	− 0.00	+ 0.00	+ 0.00

Nº Pi	pv_B	δx	δy	δz
+ 1	+ 0.1	+ 11.6	− 11.4	+ 18.3
+ 2	+ 0.0	+ 6.6	− 6.7	+ 12.5
+ 3	− 0.2	+ 1.1	− 15.7	+ 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	+ 6.7	− 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

δx, δy, δz = Variations des coordonnées restituées.
Echelle 1:1 Unité : 1 cm.

Ces erreurs proviennent uniquement de la variation des éléments de l'orientation relative $(d\kappa_B, d\varphi_B, \ldots, dbz_B)$

pv_B = parallaxe verticale calculée dans le plan du cliché unité : 1/100 mm.

$+ \; 0.2 = \mu_{pv} = \sqrt{\frac{[(pv)^2]}{n}}$ unité : 1/100 mm.

facteur d'échelle $(1+\lambda)$		Rotation $d\alpha^c$		ΔZ cm.	
+0.999959829	+ 0	+0.201565588	+ 0	−0.423328443	− 8

$\Delta\omega^c$	$\Delta\varphi^c$
+ 0.9	− 0.0

$fs^{cm.}$	$fz^{cm.}$
+ 9.1	+ 2.4

Nº Pi	Vx_i	Vy_i	Vz_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	+ 2.9
+15	− 0.4	+ 7.2	+ 2.9
+16	− 0.4	+ 6.8	+ 2.9
+17	− 1.2	+ 6.1	+ 2.5
+18	− 10.7	− 5.9	− 2.3
+19	− 6.7	− 6.7	− 2.6
+20	− 0.0	− 8.2	− 2.6
+21	+ 6.9	− 7.2	− 2.2
+22	+ 10.5	− 6.6	− 1.2

Erreurs résiduelles des coordonnées restituées après orientation absolue.

$\left.\begin{array}{l} Vx_i \\ Vy_i \\ Vz_i \end{array}\right\}$ en cm. Echelle 1:1

ETAT II

+ 0.0	+ 1.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0

+ 2	+ 0.00	− 0.85	− 0.00	+ 0.00	+ 0.00

+ 1	− 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	+ 70.2
+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	+138.4
+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	+142.9
+18	+ 0.3	+103.0	+ 94.9	+160.9
+19	+ 0.1	+ 66.1	+ 88.6	+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

+ 1	+ 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	+ 1.4	+ 0.9
+ 7	+ 0.2	+ 0.2	+ 1.5	+ 0.4
+ 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	+ 0.3	+ 2.0	− 1.3
+14	+ 0.2	+ 0.6	+ 2.1	− 2.5
+15	+ 0.2	− 0.0	+ 2.3	− 1.6
+16	+ 0.2	− 0.1	+ 2.6	− 0.4
+17	+ 0.2	+ 1.2	+ 3.6	+ 1.9
+18	+ 0.3	+ 3.1	+ 7.1	+ 4.8
+19	+ 0.3	+ 0.9	+ 5.7	+ 2.0
+20	+ 0.3	− 0.4	+ 3.2	− 2.3
+21	+ 0.3	+ 0.9	+ 0.5	− 6.8
+22	+ 0.3	+ 2.8	− 1.2	− 9.1

+ 0.2

+0.100000252	+ 1	+0.124482648	− 1	+0.317496332	− 9

+ 0.1	+ 0.1

+ 1.9	+ 2.4

+ 1	− 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

+ 1	− 0.0	− 2.1	+ 2.1	− 3.4
+ 2	− 0.2	− 0.2	− 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	+ 3.7
+ 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	− 1.0	+ 0.3	− 6.3
+21	+ 0.2	+ 2.4	− 7.0	− 18.0
+22	+ 0.2	+ 7.4	− 11.5	− 24.3

+ 0.2

+0.100042213 + 1 -0.121432521 + 0 -0.740824775 - 7

- 0.9 - 0.5

+ 10.4 + 11.8

+ 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	-	4.6	-	14.1
+21	-	3.1	+	4.1	+	3.2
+22	-	14.1	+	12.8	+	18.0

+0.100000679 + 1 +0.336061818 - 1 +0.634992665 - 8

+ 0.2 + 0.3

+ 5.1 + 6.3

+ 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	-	0.7	+	0.2	+	2.5
+13	+	0.7	-	0.3	+	2.7
+14	+	1.6	-	0.2	+	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

+ 0.0 + 0.0 + 1.0 + 0.0 + 0.0

ETAT III

Nº 149/8

Institut de Photogrammétrie EPUL.

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

+ 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	+	0.0	+	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	+	0.2	+	2.4	+	6.2	+	3.8
+19	+	0.2	+	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

+ 0.2

+0.100000198 + 1 +0.977630358 - 2 +0.454545455 -999

+ 0.1 + 0.1

+ 1.5 + 1.9

+ 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	-	0.2	-	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

Quelles que soient alors les valeurs que nous attribuons aux paramètres $k_1 \ldots k_5$, les grandeurs $T_1 \ldots T_5$ vérifient toujours l'équation (1). En se servant des paramètres $k_1 \ldots k_5$, 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 $k_1 \ldots k_5$ 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 $m_1 \ldots m_5$ dont chacun agit essentiellement sur l'une des variables d'orientation, et ceci d'après le schéma suivant:

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

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 φ et ω,
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.

§ 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^{cc}. Dans les applications pratiques, cette précision pourrait encore être augmentée moyennant un petit artifice.

Un autre point mériterait 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 abgeholzt 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