Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und

Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du

génie rural et de la photogrammétrie

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik =

Société suisse de la mensuration et du génie rural

Band: 61 (1963)

Heft: 11

Artikel: Développements mathématiques pour l'orientation numérique de vues

aériennes quelconques dans un stéréorestituter

Autor: Bachmann, W.K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-218466

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: 09.12.2025

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

Anerkennung aussprechen für sein Verständnis in Fragen der Entwicklungshilfe und der Forschung.

Die schweizerischen Vermessungsfachleute entbieten mit diesen wenigen Zeilen Herrn Dr. h. c. Albert J. Schmidheini die herzlichsten Glückwünsche zum 80. Geburtstag. Sie wünschen der Firma Wild-Heerbrugg, die er mit Stolz in hohem Maße als sein Werk betrachten darf, eine weitere gedeihliche Entwicklung. Dem Jubilar aber mögen noch viele Jahre bester Gesundheit vergönnt sein. Er wird sich wohl auch in den kommenden Jahren noch der Firma in hohem Maße annehmen und hier seine Befriedigung finden. Wir wünschen dem Jubilar aber auch zahlreiche Mußestunden, von denen er wohl einen großen Teil auf der Jagd, die ihm Erholung bedeutet, zubringen wird. Doch möchten wir nicht nur Herrn Dr. Schmidheini, sondern auch den Rehen und Hirschen noch ein langes, sorgenfreies Dasein gönnen.

F. Kobold

Développements mathématiques pour l'orientation numérique de vues aériennes quelconques dans un stéréorestituteur

Par D^r W. K. Bachmann, professeur à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne

Avant-propos

Nous donnons ci-après les développements mathématiques qui sont à la base de l'orientation numérique de vues aériennes quelconques dans un stéréorestituteur. Ce problème a été exposé dans la Revue technique Suisse des Mensurations, du Génie rural et de Photogrammétrie du 15 décembre 1962 où le lecteur trouvera un certain nombre d'exemples numériques traités par cette méthode. Les calculs ont été faits avec la calculatrice Zebra de l'EPUL. Sur demande, les programmes peuvent être fournis par l'auteur sur bandes perforées.

Chapitre I

Programme No 400.10

Méthode numérique d'orientation relative de vues quelconques à l'autographe Wild A 7

§ 1. Formules fondamentales

Dans ce qui suit, nous utiliserons fréquemment des formules que nous avons développées en 1951 dans la publication [1]. Nous les mentionnerons ici en faisant précéder leur numéro de [1]. En écrivant par exemple [1] (1.53), il s'agira donc de la formule (1.53) de la publication [1].

Les formules et méthodes de calcul que nous développerons seront tout à fait générales, en ce sens qu'elles s'appliqueront à des vues disposées arbitrairement et à une configuration quelconque du sol. Elles seront par conséquent particulièrement intéressantes pour l'orientation relative de vues à fortes différences d'altitude.

Etant donné que ces développements devraient pouvoir être utilisés aussi bien pour la triangulation aérienne que pour la restitution de couples isolés, nous avons choisi la méthode de la connexion des images en prenant $x_B, \varphi_B, \omega_B, by_B$ et bz_B comme variables d'orientation. Leurs valeurs numériques seront par hypothèse nulles pour la position normale des chambres.

La parallaxe verticale pv_B à la chambre B, mesurée dans le plan du cliché, est donnée par la formule

$$pv_B = + f \cdot \psi_B (dL_B - dL_A)$$
 voir [1] (1.51) (I.1.1)

 pv_B = parallaxe verticale à la chambre B, mesurée dans le plan du cliché

qui devient dans le cas présent

$$pv_B = + f \cdot \psi_B \cdot dL_B \tag{I.1.2}$$

vu que dL_A est nul puisqu'on oriente la chambre B par rapport à A, restée fixe.

Les grandeurs ψ et dL figurant dans les formules (I.1.1) et (I.1.2) sont données par

$$\psi = \frac{\sqrt{(-x\sin\varphi + z\cos\varphi\cos\omega)^2 + (x^2 + z^2)\cos^2\varphi\sin^2\omega}}{(-x\sin\varphi + y\cos\varphi\sin\omega + z\cos\varphi\cos\omega)^2}$$
(I.1.3)
voir [1] (1.14)

Pour la position normale des chambres, on a

$$\varkappa = 0 \quad \omega = 0 \quad \varphi = 0 \tag{I.1.4}$$

$$\begin{aligned}
\chi &= 0 \quad \omega = 0 \quad \varphi = 0 \\
&+ \left\{ x \cos \varphi \cos \omega + z \left(1 + \frac{y^2}{z^2} \right) \sin \varphi + \frac{xy}{z} \cos \varphi \sin \omega \right\} d\chi \\
&+ \left\{ x \sin \omega - \frac{xy}{z} \cos \omega \right\} d\varphi + z \left\{ 1 + \frac{y^2}{z^2} \right\} d\omega \\
&- dby - \frac{y}{z} dbz \quad \text{voir [1] (1. 38)} \\
&+ d\chi, d\varphi, d\omega \text{ en radians}
\end{aligned}$$

dby, dbz, pv_B en millimètres

Pour simplifier l'écriture de ces formules, nous allons introduire les notations suivantes:

$$\alpha = + x \cos \varphi \cos \omega + z \left(1 + \frac{y^2}{z^2} \right) \sin \varphi + \frac{xy}{z} \cos \varphi \sin \omega$$

$$\beta = + x \sin \omega - \frac{xy}{z} \cos \omega$$

$$\gamma = + z \left\{ 1 + \frac{y^2}{z^2} \right\}$$

$$\delta = -1$$

$$\varepsilon = -\frac{y}{z}$$
(I.1.6)

et la formule (I. 1. 2) de la parallaxe verticale devient alors

$$pv_B = + f \cdot \psi_B \cdot \left\{ \alpha \cdot d\alpha + \beta \cdot d\varphi + \gamma \cdot d\omega + \delta \cdot dby + \varepsilon \cdot dbz \right\}$$
 $d\alpha, d\alpha, d\alpha$ en radians (I.1.7)
 f, pv_B, dby, dbz en millimètres
 $pv_B = \text{parallaxe verticale mesur\'ee dans le plan du clich\'e}$

où $d\varkappa$, $d\varphi$, $d\omega$, dby, dbz désignent les accroissements attribués aux éléments d'orientation de la chambre B à partir de l'orientation relative correcte. Nous introduisons en outre les désignations suivantes:

La formule (I. 1. 2) devient ainsi

$$pv_{B} = + f \cdot \psi_{B} \cdot \begin{cases} + \alpha \left(\varkappa - \varkappa_{0} \right) + \beta \left(\varphi - \varphi_{0} \right) + \gamma \left(\omega - \omega_{0} \right) \\ + \delta \left(by - by_{0} \right) + \varepsilon \left(bz - bz_{0} \right) \end{cases}$$

$$(\varkappa - \varkappa_{0}), \quad (\varphi - \varphi_{0}), \quad (\omega - \omega_{0}) \quad \text{en radians.}$$
(I.1.9)

Supposons maintenant qu'on annule successivement la parallaxe verticale en n points P_1, P_2, \ldots, P_n avec by et désignons les valeurs ainsi obtenues par by_1, by_2, \ldots, by_n . Si v_1, v_2, \ldots, v_n représentent les erreurs des parallaxes verticales ainsi annulées, nous obtenons les aquations aux erreurs

$$\begin{aligned} v_i &= + f \cdot (\psi_B)_i \begin{cases} + \alpha_i \left(\varkappa - \varkappa_0 \right) + \beta_i \left(\varphi - \varphi_0 \right) + \gamma_i \left(\omega - \omega_0 \right) \\ + \delta_i \left(b y_i - b y_0 \right) + \varepsilon_i \left(b z - b z_0 \right) \end{cases} \\ by_i &= \text{valeur de } by \text{ pour } pv_B = 0 \text{ au point No } P_i \\ v_i &= \text{erreur de mesure de la parallaxe verticale dans le plan} \\ \text{du cliché au point No } P_i. \end{aligned} \tag{I.1.10}$$

Au point de vue du calcul numérique, il y aura encore quelques drécautions à prendre:

- 1º En introduisant κ , φ , ω en grades, nous désignerons leurs valeurs numériques par κ^{gr} , φ^{gr} , ω^{gr} .
- 2º Les composantes de base bx, by et bz seront exprimées en millimètres, et il en sera de même de la parallaxe verticale pv_B . On aura toujours bx > 0.
- 3º Dans le but d'éviter des changements de signe, nous prendrons pour la

position normale des chambres
$$\chi^{\rm gr} = +400^{\rm gr} \quad \varphi^{\rm gr} = +100^{\rm gr} \quad \omega^{\rm gr} = +100^{\rm gr} \quad (\text{I.1.11})$$
 $by = +100 \text{ mm} \qquad bz = +100 \text{ mm}$

Les valeurs des éléments d'orientation lues à l'autographe seront ainsi toujours positives.

En posant maintenant

$$a_i = + f \cdot (\psi_B)_i \cdot \frac{\alpha_i}{\rho^{gr}}$$
 $b_i = + f \cdot (\psi_B)_i \cdot \frac{\beta_i}{\rho^{gr}}$ $c_i = + f \cdot (\psi_B)_i \cdot \frac{\gamma_i}{\rho^{gr}}$ $d_i = f_i = + f \cdot (\psi_B)_i \cdot \delta_i$ (I.1.12) $e_i = + f \cdot (\psi_B)_i \cdot \varepsilon_i$ $\rho^{gr} = + 63^{gr}, 6620$

l'équation (I.1.10) devient

$$v_{i} = \begin{cases} + a_{i} (x - x_{0})^{gr} + b_{i} (\varphi - \varphi_{0})^{gr} + c_{i} (\omega - \omega_{0})^{gr} \\ + d_{i} (100 \text{ mm} - by_{0}) + e_{i} (bz - bz_{0}) \\ + f_{i} (by_{i} - 100 \text{ mm}) \end{cases}$$
(I.1.13)

 $v_i={
m erreur}$ résiduelle de la parallaxe verticale dans le plan du cliché.

où $f_i \cdot (by_i - 100 \text{ mm})$ est le terme absolu. Les relations (I.1.13) sont donc des équations aux erreurs. Pour former les équations normales, nous attribuons le même poids (p = 1) à toutes les observations. La résolution des 5 équations normales donne alors la valeur des inconnues

$$(\varkappa - \varkappa_0)^{gr}$$
, $(\varphi - \varphi_0)^{gr}$, $(\omega - \omega_0)^{gr}$
(100 mm - by_0)_{mm}, $(bz - bz_0)_{mm}$.

Une fois celles-ci calculées, on en déduit les valeurs compensées à introduire à l'autographe. Cette compensation permet également de calculer l'erreur moyenne à craindre sur l'unité de poids, c'est-à-dire

$$\mu = \begin{cases} \text{erreur moyenne à craindre sur une mesure de la} \\ \text{parallaxe verticale dans le plan du cliché.} \end{cases}$$
 (I.1.14)

En résolvant ensuite les équations aux poids, on trouve les coefficients de poids et de corrélation des 5 variables d'orientation d'où l'on déduit les erreurs moyennes

$$\mu_{\varkappa}^{c}$$
, μ_{φ}^{c} , μ_{ω}^{c} erreurs moyennes exprimées en minutes centésimales (I.1.15)

 μ_{by} , μ_{bz} erreurs moyennes exprimées en $^{1}/_{100}$ mm.

Finalement, on calculera encore les coefficients de dépendance qui sont définis comme il suit:

Coefficient de dépendance

Si x et y sont deux variables aléatoires dépendantes ou indépendantes ayant Q_{xx} , Q_{yy} , Q_{xy} comme coefficients de poids et de corrélation, leur coefficient de dépendance d^2_{xy} est défini par l'équation

$$d^{2}_{xy} = \frac{Q_{xx} Q_{yy} - Q^{2}_{xy}}{Q_{xx} Q_{yy}} = 1 - \frac{Q^{2}_{xy}}{Q_{xx} Q_{yy}}$$
(I.1.16)

 $d^2_{xy}=1$ lorsque les deux variables sont indépendantes, $d^2_{xy}=0$ lorsque les deux variables sont les deux variables deux variables sont les deux variables d lorsque les deux variables sont liées par une équation linéaire.

§ 2. Exécution des calculs sur Zebra

Pour exécuter les calculs sur une calculatrice électronique telle que Zebra, il faut d'abord établir un programme sur bande perforée donnant à la machine les instructions nécessaires pour les diverses opérations qu'elle aura à effectuer. En plus de cela, il faut lui fournir, également sur bande perforée, les différentes lectures et mesures effectuées à l'autographe. Nous ne pouvons reproduire ici les développements que nécessite l'établissement de ce programme, car cela nous mènerait trop loin; mais sur demande nous pouvons les fournir au lecteur.

La bande numérique qui fournit à la calculatrice les mesures et lectures à l'autographe se compose de deux parties:

a) Une bande numérique préliminaire perforée à la main sur un téléscripteur ayant le code Zebra Input. La configuration de cette bande est indiquée ci-après sous le numéro (I.2.1). Le nombre n des points P_1, P_2, \ldots, P_n auxquels on mesure la parallaxe verticale a été limité à 25. Nous aurons donc

$$n \leq 25$$
 $n = \left\{ egin{array}{ll} {
m nombre \ des \ parallaxes \ verticales \ mesur\'ees \ dans \ un \ couple. \end{array}
ight.$

L'échelle 1/E de l'image plastique (voir I. 2. 1) est introduite à l'aide du dénominateur +E. Pour ce qui a trait à la lecture des altitudes à l'autographe Wild A7, il faut d'abord voir quelle est l'unité donnée par le tambour altimétrique. Si c'est le centimètre, on prendra k=+1, tandis qu'on aura k=+10 si le tambour donne le décimètre; voir tableau (I.2.1) multiplicateur des altitudes. Moyennant cette disposition, on aura toujours dans la calculatrice les altitudes en mètres avec deux décimales après la virgule.

- b) Enregistrement automatique de la bande numérique au EK3. Pour que la Zebra puisse effectuer les calculs, nous devons lui fournir, sur bande perforée en code Zebra Input, pour chaque point observé:
 - 1º le numéro du point;
 - 2° la valeur de by_i pour $(pv_B)_i = 0$;
 - 3º les coordonnées autographe ξ_i et η_i et l'altitude H_i du point P_i ;
 - 4º la lettre y à la fin de l'enregistrement de chaque point. En lisant la lettre y, la calculatrice sait que l'enregistrement du point est terminé.

Vu que la Zebra doit calculer les coordonnées réduites X, Y (voir [1], fig. 1. 2) au point nadiral de chaque vue, et ceci à l'échelle de l'image plastique, nous devons lui fournir également les coordonnées machine ξ_0 et η_0 de ce point par un enregistrement préliminaire de référence avec la tige conductrice B verticale. Il en est de même des altitudes H_i pour lesquelles on procédera à un enregistrement de référence en amenant le chariot de base à Z=300 mm. Ces enregistrements de référence pourraient être évités, au moins partiellement, en introduisant au pré-

alable des valeurs données au EK3, mais une telle méthode ne serait pas pratique. Par conséquent, le travail à l'autographe se déroulera de la façon suivante une fois l'orientation relative du couple dégrossie:

Enregistrement au EK3

1º Placer les fiches de connexion de l'armoire de commande de façon à pouvoir enregistrer deux numéros sur le clavier du pupitre de commande. Le premier, situé à gauche, donnera le numéro du point (trois chiffres) et le second (5 chiffres) la valeur de by_i pour $(pv_B)_i = 0$ en $^1/_{100}$ mm. On aura donc sur le pupitre de commande

No P_i by en $\frac{1}{100}$ mm, compté depuis 100 mm pour la position normale de l'autographe

On accouplera ensuite le EK3 à l'autographe avec KX, KY, KZ, et ceci dans une position quelconque.

- 2º Enregistrement des conditions initiales (une seule fois par couple)
- a) Rendre la tige conductrice B approximativement verticale avec une nivelle sphérique (par exemple avec la nivelle pour la mire topographique verticale).
- b) Amener le chariot de base à Z=300 mm (utiliser l'index de la colonne des Z).
- c) Placer un numéro quelconque sur le clavier du pupitre de commande puis presser la touche enregistrement, ce qui donne sur la bande perforée

No No ξ_0 η_0 H_0 y Espace

L'appareil est alors prêt pour la mesure des parallaxes verticales.

d) Enregistrement de la mesure de la parallaxe verticale en un point quelconque P_i . On élimine d'abord la parallaxe verticale avec by_B et l'on introduit la valeur ainsi obtenue pour by_B au clavier du pupitre de commande, ainsi que le numéro du point. L'unité pour l'enregistrement de by_B est le $^1/_{100}$ mm. Presser la touche enregistrement qui commande la perforation de

No by_i ξ_i η_i H_i y

Dès que la lampe témoin du pupitre de commande est sur vert, on peut passer à l'enregistrement d'un nouveau point.

e) La fin de la mesure des *n* points n'a pas besoin d'être marquée spécialement puisque le nombre de points *n* est indiqué par la bande préliminaire.

Une fois les mesures terminées, les calculs sur Zebra sont commandés comme il suit:

Manipulations à la Zebra

U1 = U2 = ... = U6 = 0. Sortie sur téléscripteur.

- 1º Introduire programme par Clear et Start. Stop dynamique.
- 2º Introduction de la bande préliminaire par Start. Stop dynamique.
- 3º Introduction de la bande numérique principale par Start.
- 4º Les calculs s'effectuent alors automatiquement jusqu'à la fin. Stop dynamique.
- 5° Pour un nouveau calcul on commencera en 2° avec Start. Si U1=1 au début, reprise automatique en 2° .

Durée du calcul pour n = 20:

- a) Sortie sur téléscripteur 7^{min}
- b) Sortie sur punch 5^{min}

Le tableau Nº (I. 2. 2) nous donne un exemple numérique.

Programme Nº 400.10 (I.2.1)Bande numérique préliminaire No Entreprise Nº Ligne de vol Nº cliché A Nº cliché B $(^{1}/_{E} = \text{Echelle de l'image plastique})$ k = +1 si unité de lecture = 1 cm k = +10 si unité de lecture = 1 dm k = multiplicateur desaltitudes k = +100 si unité de lecture = 1 m n = nombre de points auxquels pv_B a été mesurée n < 25 x_A^{gr} à compter à partir de 400gr $lpha_{B}^{ m gr}$ φ_A^{gr} $arphi_{f B}^{ m gr}$ à compter à partir de 100gr ω_A^{gr} ω_R^{gr} $(by_A)_{mm}$ $(by_B)_{mm}$ à compter à partir de 100 mm $(bz_A)_{mm}$ $(bz_B)_{mm}$ $(bx)_{\rm mm} > 0$ $f_{\rm mm} = {\rm distance\ focale\ (toujours > 0)}$ +#

```
Programme Nº 400.10 (Résultats)
```

(1.2.2)

```
No
                      Vues
                           \boldsymbol{B}
Entreprise Ligne
+ 139.00 + 1.00 + 3.00 + 4.00 + 3000.00 + 151.96
+1.00 + 19.00
\omega_B^{\rm gr}
                                                           Conditions
                                                           initiales
                    (bz)_A
                            (bz)_B
+100.00 + 105.81 + 100.00 + 102.36 + 151.50 \leftarrow en millimètres
-0.232830644 -
+ 0.232830644 - 
                  8
                       Contrôle de la résolution
+ 1.000000000 - 999
                       des 5 équations normales \approx 0
-0.232830644 -
                  7
+ 1.000000000 - 999
```

Chambre BRésultat de la compensation

+ 1.79 = μ en $^{1}/_{100}$ mm (dans le plan du cliché)

```
No
       v_i \text{ en } ^{1}/_{100} \text{ mm}
   + 0.71
 2 + 0.51
 3 + 0.55
 4 - 1.01
 5 + 0.34
 6 - 0.42
 7 - 0.38
 8 + 0.30
 9 + 0.89
                Erreurs de la mesure des parallaxes verticales
10 - 0.41
                dans le plan du cliché
11 + 0.66
12 - 1.82
13 - 1.35
14 + 4.28
15 - 3.57
16 + 1.61
17 - 1.40
18 + 0.08
19 + 0.49
```

Coefficients de poids et de corrélation des éléments d'orientation de la chambre B

Q_{II}	*	х		φ		ω	11	by		bz
ж	1+	0.0974		0.0815		0.0580		0.3510	+	0.0726
φ	-	0.0815	+	0.6506	1 +	0.1641	+	0.7743	+	0.3811
ω	_	0.0580	+	0.1641	+	0.6393	+	3.3157		0.2650
by		0.3510	1 +	0.7743	+	3.3157	+	17.4275		1.4454
bz	1+	0.0726	+	0.3811		0.2650		1.4454	+	1.5052

Unités: κ , φ , ω : 1° by, bz, μ : $\frac{1}{100}$ mm

```
 \begin{array}{l} + \ 0.56 \ = \ \mu_{\varkappa}^{\rm c} \\ + \ 1.45 \ = \ \mu_{\varphi}^{\rm c} \\ + \ 1.43 \ = \ \mu_{\omega}^{\rm c} \\ + \ 7.48 \ = \ \mu_{by} \ \ {\rm en}^{\ 1/_{100} \ mm} \\ + \ 2.20 \ = \ \mu_{bz} \ \ {\rm en}^{\ 1/_{100} \ mm} \end{array} \right\} \ \begin{array}{l} {\rm Erreurs \ moyennes \ \grave{a} \ craindre \ sur} \\ {\rm les \ \acute{e}l\acute{e}ments \ d'orientation \ compens\acute{e}s} \end{array}
```

Coefficients de dépendance

$egin{array}{llllllllllllllllllllllllllllllllllll$	$egin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
--	--

Chapitre II

Programme No 401.4

Précision de l'orientation relative numérique à l'autographe Wild A7

§ 1. Généralités

Au chapitre I, nous avons donné les développements mathématiques du programme N° 400.10. Celui-ci permet de calculer la valeur des éléments d'orientation relative à introduire à l'autographe, ainsi que leurs erreurs moyennes. Dans ce qui suit, nous allons développer le programme N° 401.4 d'un caractère plus théorique donnant, outre les résultats fournis par le N° 400.10, les coefficients de poids et de corrélation des coordonnées X, Y et Z des points utilisés pour l'orientation relative. Les erreurs moyennes μ_x , μ_y , μ_z ainsi calculées sont donc uniquement dues aux erreurs entachant les éléments d'orientation relative. Nous ne ferons intervenir l'orientation absolue que plus tard en traitant le programme N° 403.45.

§ 2. Formules fondamentales

Partons d'une orientation relative correcte, c'est-à-dire exempte de toute erreur. En attribuant alors les accroissements $d\varkappa_B$, $d\varphi_B$, $d\omega_B$, $d\omega_B$, dby_B , dbz_B aux éléments d'orientation de la chambre B, l'image plastique est déformée. D'après [1] les déformations δx , δy , δz sont données par les formules suivantes:

$$\delta x = \frac{x_A}{bx} dK_B$$
 $x_A = x_B + bx$ voir [1] (1.47) (II.2.1)

$$\delta y = \frac{y}{bx} dK_B + \frac{\psi_B}{\psi_A + \psi_B} dL_B$$
 voir [1] (1.53) (II.2.2)

$$\delta z = \frac{z}{bx} dK_B \tag{II.2.3}$$

où l'on a

$$dK_{B} = \begin{cases} +\left\{z\cos\varphi_{B}\sin\omega_{B} - y\cos\varphi_{B}\cos\omega_{B} + \frac{x_{B}y}{z}\sin\varphi_{B} + \frac{x^{2}B}{z}\cos\varphi_{B}\sin\omega_{B}\right\}dx_{B} \\ -\left\{z\cos\varphi_{B} + y\sin\omega_{B} + \frac{x^{2}B}{z}\cos\omega_{B}\right\}d\varphi_{B} \\ +\frac{x_{B}y}{z}d\omega_{B} - \frac{x_{B}}{z}dbz_{B} \end{cases}$$

$$voir [1] (1.37) où l'on a toujours $db\overline{x} = 0$

$$dx_{B}, d\varphi_{B}, d\omega_{B} \text{ en radians}$$

$$dbz_{B} \text{ en millimètres}$$$$

tandis que dL_B et ψ_A , ψ_B sont donnés par les formules (I. 1. 5) et (I. 1. 3) où l'on placera partout l'indice B respectivement A.

Vu que dK_B et dL_B sont des fonctions de $d\varkappa_B$, $d\varphi_B$, $d\omega_B$, $d\omega_B$, dby_B , dbz_B , ils peuvent être considérés comme variables aléatoires. Ces fonctions étant linéaires, on calcule facilement les coefficients de poids et de corrélation

$$Q_{KK}$$
 Q_{KL} Q_{LL} .

Pour simplifier les écritures, nous posons

$$A = +\frac{1}{\rho^{\text{gr}}} \left\{ z \cos \varphi_B \sin \omega_B - y \cos \varphi_B \cos \omega_B + x_B \frac{y}{z} \sin \varphi_B + \frac{x^2 B}{z} \cos \varphi_B \sin \omega_B \right\}$$

$$B = -\frac{1}{\rho^{\text{gr}}} \left\{ z \cos \omega_B + y \sin \omega_B + \frac{x^2 B}{z} \cos \omega_B \right\}$$

$$C = +\frac{1}{\rho^{\text{gr}}} \cdot x_B \cdot \frac{y}{z} \qquad C' = 0$$

$$D = -\frac{x_B}{z}$$

$$E = +\frac{1}{\rho^{\text{gr}}} \left\{ x_B \cos \varphi_B \cos \omega_B + z \left(1 + \frac{y^2}{z^2} \right) \sin \varphi_B + \frac{y}{z} \cos \varphi_B \sin \omega_B \right\}$$

$$(II.2.5)$$

$$F = +\frac{1}{\rho^{gr}} \left\{ x_B \sin \omega_B - x_B \frac{y}{z} \cos \omega_B \right\}$$

$$G = +\frac{1}{\rho^{gr}} \cdot z \left(1 + \frac{y^2}{z^2} \right)$$

$$H = -1$$

$$J = -\frac{y}{z}$$
(II.2.5)

ce qui nous donne

$$dK_{B}^{mm} = + A \cdot d\varkappa_{B}^{gr} + B \cdot d\varphi_{B}^{gr} + C \cdot d\omega_{B}^{gr} + C \cdot d\omega_{B}^{$$

En appliquant à ces formules le calcul symbolique des coefficients de poids, on trouve Q_{KK} , Q_{KL} , Q_{LL} . Il est dès lors facile d'obtenir les coefficients de poids et de corrélation des coordonnées x, y, z; en effet, les équations (II.2.1), (II.2.2) et (II.2.3) nous donnent immédiatement

$$Q_{xx} = \frac{x^2_A}{(bx)^2} \cdot Q_{K_B K_B} \qquad Q_{zz} = \frac{z^2}{(bx)^2} \cdot Q_{K_B K_B}$$

$$Q_{yy} = \frac{y^2}{(bx)^2} \cdot Q_{K_B K_B} + \left(\frac{\psi_B}{\psi_A + \psi_B}\right)^2 \cdot Q_{L_B L_B} + \frac{y}{bx} \left(\frac{\psi_B}{\psi_A + \psi_B}\right) \cdot Q_{K_B L_B}$$

$$Q_{xy} = \frac{x_A}{bx} \cdot \frac{y}{bx} \cdot Q_{K_B K_B} + \frac{x_A}{bx} \left(\frac{\psi_B}{\psi_A + \psi_B}\right) \cdot Q_{K_B L_B} \qquad (II.2.7)$$

$$Q_{xz} = \frac{x_A}{bx} \cdot \frac{z}{bx} \cdot Q_{K_B K_B}$$

$$Q_{yz} = \frac{y}{bx} \cdot \frac{z}{bx} \cdot Q_{K_B K_B} + \frac{z}{bx} \left(\frac{\psi_B}{\psi_A + \psi_B}\right) \cdot Q_{K_B L_B}$$

Unités: Le millimètre à l'échelle de l'image plastique si μ est exprimée en millimètres (voir I.1.14)

On obtient ensuite

$$\mu_x = \pm \sqrt{Q_{xx}} \cdot \mu \quad \mu_y = \pm \sqrt{Q_{yy}} \cdot \mu \quad \mu_z = \pm \sqrt{Q_{zz}} \cdot \mu \quad (II.2.8)$$

Les coefficients de dépendance sont donnés par les formules

$$d^{2}_{xy} = \frac{Q_{xx} Q_{yy} - Q^{2}_{xy}}{Q_{xx} Q_{yy}} = 1 - \frac{Q^{2}_{xy}}{Q_{xx} Q_{yy}}$$

$$d^{2}_{xz} = \frac{Q_{xx} Q_{zz} - Q^{2}_{xz}}{Q_{xx} Q_{zz}} = 1 - \frac{Q^{2}_{xz}}{Q_{xx} Q_{zz}} \qquad (II.2.9)$$

$$d^{2}_{yz} = \frac{Q_{yy} Q_{zz} - Q^{2}_{yz}}{Q_{yy} Q_{zz}} = 1 - \frac{Q^{2}_{yz}}{Q_{yy} Q_{zz}}$$

Démontrons encore qu'on a toujours

$$d^2_{yx} = d^2_{yz} d^2_{xz} = 0. (II.2.10)$$

On obtient en effet à partir des équations (II.2.1) à (II.2.3)

$$Q_x = rac{x_A}{bx} \cdot Q_{K_B}$$
 $Q_z = rac{z}{bx} \cdot Q_{K_B}$ d'où $Q_{xz} = rac{x_A}{bx} \cdot rac{z}{bx} \cdot Q_{K_B K_B}$ $Q_{xx} = rac{(x_A)^2}{(bx)^2} \cdot Q_{K_B K_B}$ $Q_{zz} = \left(rac{z}{bx}
ight)^2 \cdot Q_{K_B K_B}$

Nous en déduisons

$$d^2_{xz} = rac{-\left(rac{x_A}{bx}
ight)^2 \left(rac{z}{bx}
ight)^2 + \left(rac{x_A}{bx}
ight)^2 \left(rac{z}{bx}
ight)^2}{Q_{xx} Q_{zz}} \cdot Q_{K_B K_B} = 0, \quad ext{c. q. f. d.}$$

La première des formules (II.2.10) peut être démontrée de la même façon.

§ 3. Exécution des calculs numériques

Les calculs s'effectuent à l'aide du programme Nº 401.4 indiqué ci-après.

La préparation de la bande numérique et les manipulations sont exactement les mêmes que pour le programme N^o 400.10 précédemment décrit.

La calculatrice fournit alors comme résultats tout d'abord ceux du programme N° 400.10 qui ont déjà été indiqués sous (I.2.2), ce qui veut dire que le programme N° 400.10 est inclus dans le programme N° 401.4. La calculatrice imprime ensuite les coefficients de poids et de corrélation indiqués ci-après sous (II.3.1).

Ce qui nous intéresse finalement, ce sont les coefficients de dépendance d^2_{xy} , d^2_{xz} , d^2_{yz} et les erreurs moyennes μ_x , μ_y , μ_z . Les résultats indiqués au tableau (II.3.1) permettent de tirer les conclusions suivantes au sujet des coefficients de dépendance:

 1° On a toujours $d^2_{xy} = d^2_{yz}$, ce qui est confirmé par les développements théoriques donnés.

 2° On a toujours $d^2_{xz}=0$, ce qui est également confirmé par la théorie. Il existe donc toujours une relation linéaire entre les déformations δx et δz , ce qui résulte du reste immédiatement des équations (II.2.1) et (II.2.3).

 3° Les coefficients d^{2}_{xy} et d^{2}_{yz} varient sensiblement avec la position des points. Dans le cas de vues verticales, ils atteignent leur maximum sur la droite joignant les deux points nadiraux.

Passons maintenant à l'examen des erreurs moyennes μ_x , μ_y , μ_z en indiquant tout d'abord les caractéristiques des vues utilisées:

Vues utilisées pour l'exemple numérique calculé:

Objectif Aviogon f=150 mm. Films 24×24 cm. Vues normales h=850 m sur sol. Echelle des vues $\approx 1/5600$.

(II.3.2)

Avec ce genre de vues, on a l'habitude de garantir une précision altimétrique de la restitution de 15 à 20 cm. En examinant les valeurs indiquées pour μ_z dans (II.3.1), on est étonné de voir qu'elles peuvent atteindre \pm 50 cm, ce qui est incontestablement un résultat très mauvais. Nous constatons ainsi une fois de plus que l'orientation relative, même exécutée avec une vingtaine de points, est toujours une opération fort délicate qui peut donner lieu à des erreurs particulièrement dangereuses pour la triangulation aérienne; voir par exemple [2].

Ces résultats, qui semblent à priori en désaccord avec ceux fournis par la pratique, s'expliquent cependant lorsqu'on fait également intervenir l'orientation absolue. En effet, l'orientation relative donne bien lieu aux erreurs moyennes

 μ_x , μ_y , μ_z indiquées sous (II.3.1), mais les erreurs vraies δx , δy , δz pour des valeurs données de $d\kappa_B$, $d\varphi_B$, $d\omega_B$, dby_B , dbz_B

varient d'une façon continue avec les coordonnées X, Y, Z du point considéré. Il en résulte une déformation de l'image plastique qui est une fonction continue des coordonnées x, y, z. Nous ne pouvons par conséquent pas avoir de sauts brusques en passant d'un point au point voisin,

car la répartition des déformations δx , δy , δz sur l'image plastique accusera toujours une allure régulière, c'est-à-dire systématique. Ces erreurs peuvent par conséquent être éliminées au moins partiellement par l'orientation absolue.

Programme Nº 401.4

(II.3.1)

Résultats (2º partie)

Suite de l'exemple numérique (I.2.2)

N° Q_{xx}	Q_{yy}	Q_{zz}	
1 + 11.9192		+48.0591	
		+ 54.2026	
3 + 32.0353	5	+60.4832	
4 + 27.7912		+ 58.0272	
5 + 33.0124		+65.0047	
	+ 21.8522		
		+56.2235	
	+ 19.1885		
	+ 18.1677	+81.1890	
10 + 1.8308		+80.3898	Coefficients de poids et de corréla-
11 + 1.5415		+75.1169	tion des coordonnées autographe
12 + 2.0921		+89.8000	
13 + 2.8835		+44.6701	**
14 + 7.2188		+ 35.1218	er E
15 + 20.4776		+ 35.9505	
16 + 19.6428	7	+ 39.8242	
17 + 22.1741		+50.7799	
18 + 24.3779		+ 56.0391	
19 + 13.3751	5. 1000 Pt. 10. 10. 10. 10. 10.	+ 51.7616	
	1 2.0000		
N° Q_{xy}	Q_{xz}	Q_{yz}	Unités:
***	$Q_{xz} + 23.9338$	Q_{yz} — 0.4365	
1 - 0.2174	+ 23.9338	0.4365	Unités: Le millimètre si μ en millimètres
1 - 0.2174 $2 - 0.6886$	+ 23.9338 + 35.5025	-0.4365 -1.0513	
1 - 0.2174 $2 - 0.6886$	+ 23.9338 + 35.5025 + 44.0181	 0.4365 1.0513 5.4293 	
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	+ 23.9338 + 35.5025 + 44.0181 + 40.1578 + 46.3245	 0.4365 1.0513 5.4293 20.4912 42.8493 	
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	+ 23.9338 + 35.5025 + 44.0181 + 40.1578 + 46.3245 + 17.5064	 0.4365 1.0513 5.4293 20.4912 42.8493 30.3658 	
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	+ 23.9338 + 35.5025 + 44.0181 + 40.1578 + 46.3245 + 17.5064 + 2.3846	 0.4365 1.0513 5.4293 20.4912 42.8493 30.3658 39.0393 	
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{r} + 23.9338 \\ + 35.5025 \\ + 44.0181 \\ + 40.1578 \\ + 46.3245 \\ + 17.5064 \\ + 2.3846 \\ - 0.4124 \end{array}$	 0.4365 1.0513 5.4293 20.4912 42.8493 30.3658 39.0393 36.9188 	
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	+ 23.9338 + 35.5025 + 44.0181 + 40.1578 + 46.3245 + 17.5064 + 2.3846 — 0.4124 — 9.1323	 0.4365 1.0513 5.4293 20.4912 42.8493 30.3658 39.0393 36.9188 38.2631 	
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	+ 23.9338 + 35.5025 + 44.0181 + 40.1578 + 46.3245 + 17.5064 + 2.3846 — 0.4124 — 9.1323 — 12.1318	 0.4365 1.0513 5.4293 20.4912 42.8493 30.3658 39.0393 36.9188 38.2631 30.9074 	
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	+ 23.9338 + 35.5025 + 44.0181 + 40.1578 + 46.3245 + 17.5064 + 2.3846 — 0.4124 — 9.1323 — 12.1318 — 10.7609	 0.4365 1.0513 5.4293 20.4912 42.8493 30.3658 39.0393 36.9188 38.2631 30.9074 2.2669 	
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	+ 23.9338 + 35.5025 + 44.0181 + 40.1578 + 46.3245 + 17.5064 + 2.3846 — 0.4124 — 9.1323 — 12.1318 — 10.7609 — 13.7067	- 0.4365 - 1.0513 - 5.4293 - 20.4912 - 42.8493 - 30.3658 - 39.0393 - 36.9188 - 38.2631 - 30.9074 - 2.2669 + 19.6750	
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	+ 23.9338 + 35.5025 + 44.0181 + 40.1578 + 46.3245 + 17.5064 + 2.3846 — 0.4124 — 9.1323 — 12.1318 — 10.7609 — 13.7067 + 11.3493	- 0.4365 - 1.0513 - 5.4293 - 20.4912 - 42.8493 - 30.3658 - 39.0393 - 36.9188 - 38.2631 - 30.9074 - 2.2669 + 19.6750 + 19.5094	
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{r} + \ 23.9338 \\ + \ 35.5025 \\ + \ 44.0181 \\ + \ 40.1578 \\ + \ 46.3245 \\ + \ 17.5064 \\ + \ 2.3846 \\ - \ 0.4124 \\ - \ 9.1323 \\ - \ 12.1318 \\ - \ 10.7609 \\ - \ 13.7067 \\ + \ 11.3493 \\ + \ 15.9229 \end{array}$	- 0.4365 - 1.0513 - 5.4293 - 20.4912 - 42.8493 - 30.3658 - 39.0393 - 36.9188 - 38.2631 - 30.9074 - 2.2669 + 19.6750 + 19.5094 + 20.0972	
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{r} + \ 23.9338 \\ + \ 35.5025 \\ + \ 44.0181 \\ + \ 40.1578 \\ + \ 46.3245 \\ + \ 17.5064 \\ + \ 2.3846 \\ - \ 0.4124 \\ - \ 9.1323 \\ - \ 12.1318 \\ - \ 10.7609 \\ - \ 13.7067 \\ + \ 11.3493 \\ + \ 15.9229 \\ + \ 27.1327 \end{array}$	- 0.4365 - 1.0513 - 5.4293 - 20.4912 - 42.8493 - 30.3658 - 39.0393 - 36.9188 - 38.2631 - 30.9074 - 2.2669 + 19.6750 + 19.5094 + 20.0972 + 22.3373	
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{r} + \ 23.9338 \\ + \ 35.5025 \\ + \ 44.0181 \\ + \ 40.1578 \\ + \ 46.3245 \\ + \ 17.5064 \\ + \ 2.3846 \\ - \ 0.4124 \\ - \ 9.1323 \\ - \ 12.1318 \\ - \ 10.7609 \\ - \ 13.7067 \\ + \ 11.3493 \\ + \ 15.9229 \\ + \ 27.1327 \\ + \ 27.9689 \end{array}$	- 0.4365 - 1.0513 - 5.4293 - 20.4912 - 42.8493 - 30.3658 - 39.0393 - 36.9188 - 38.2631 - 30.9074 - 2.2669 + 19.6750 + 19.5094 + 20.0972 + 22.3373 + 18.3883	
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{r} + \ 23.9338 \\ + \ 35.5025 \\ + \ 44.0181 \\ + \ 40.1578 \\ + \ 46.3245 \\ + \ 17.5064 \\ + \ 2.3846 \\ - \ 0.4124 \\ - \ 9.1323 \\ - \ 12.1318 \\ - \ 10.7609 \\ - \ 13.7067 \\ + \ 11.3493 \\ + \ 15.9229 \\ + \ 27.1327 \\ + \ 27.9689 \\ + \ 33.5559 \end{array}$	- 0.4365 - 1.0513 - 5.4293 - 20.4912 - 42.8493 - 30.3658 - 39.0393 - 36.9188 - 38.2631 - 30.9074 - 2.2669 + 19.6750 + 19.5094 + 20.0972 + 22.3373 + 18.3883 + 13.3969	
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{r} + \ 23.9338 \\ + \ 35.5025 \\ + \ 44.0181 \\ + \ 40.1578 \\ + \ 46.3245 \\ + \ 17.5064 \\ + \ 2.3846 \\ - \ 0.4124 \\ - \ 9.1323 \\ - \ 12.1318 \\ - \ 10.7609 \\ - \ 13.7067 \\ + \ 11.3493 \\ + \ 15.9229 \\ + \ 27.1327 \\ + \ 27.9689 \\ + \ 33.5559 \\ + \ 36.9610 \end{array}$	- 0.4365 - 1.0513 - 5.4293 - 20.4912 - 42.8493 - 30.3658 - 39.0393 - 36.9188 - 38.2631 - 30.9074 - 2.2669 + 19.6750 + 19.5094 + 20.0972 + 22.3373 + 18.3883 + 13.3969 + 9.7366	
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{r} + \ 23.9338 \\ + \ 35.5025 \\ + \ 44.0181 \\ + \ 40.1578 \\ + \ 46.3245 \\ + \ 17.5064 \\ + \ 2.3846 \\ - \ 0.4124 \\ - \ 9.1323 \\ - \ 12.1318 \\ - \ 10.7609 \\ - \ 13.7067 \\ + \ 11.3493 \\ + \ 15.9229 \\ + \ 27.1327 \\ + \ 27.9689 \\ + \ 33.5559 \\ + \ 36.9610 \end{array}$	- 0.4365 - 1.0513 - 5.4293 - 20.4912 - 42.8493 - 30.3658 - 39.0393 - 36.9188 - 38.2631 - 30.9074 - 2.2669 + 19.6750 + 19.5094 + 20.0972 + 22.3373 + 18.3883 + 13.3969 + 9.7366	

```
Exemple No 0
                                             Entreprise No 139
                                                                                            Couple 1/3, 4
                                             Support film
                                                                                            Format 24 \times 24 cm
    Vues normales
                                             F = 150 \text{ mm}
    Objectif Aviogon
    Hauteur de vol sur sol 850 m
    Echelle des vues 1:5600
    Echelle de l'image plastique 1:3000
                                                           v1 = 0
                                                                                v2 = 1
                                                                                                      v3 = 1
                                    Clichés
                                                        (Echelle modèle = 1/E)
                                                                    \stackrel{\uparrow}{E}
                                                   \overline{B}
No Entreprise
                       Ligne
                                       A
                                                                                   f_{\mathsf{mm}}
       139.00
                       1.00
                                     3.00
                                                               3000.00
                                                                                 151.96
                                +
                                             +
                                                  4.00
      k
     1.00
                  19.00
             +
         \kappa_A^{gr}
                            \kappa_B^{gr}
                                            \varphi_A^{\mathrm{gr}}
                                                              \varphi_B^{\mathrm{gr}}
                                                                                \omega_A^{
m gr}
                                                                                                 \omega_B^{
m gr}
     398.5400
                       400.2700
                                     +
                                          99.4200
                                                           100.0000
                                                                              99.0200
                                                                                               99.4350
                                                                                                                Conditions
                                                                             bx
                                                                                                                initiales
                                                             bz_B
             by_A
                            by_B
                                            bz_A
          100.00
                                          100.00
                                                          102.36
                          105.81
                                                                          151.50
                                                                                         Unité mm
                                                     +
     0.232830644
                              7
     0.232830644
                              8
                                              Contrôle de la résolution
     1.000000000
                           999
                                             des équations normales
     0.232830644
     1.000000000
                                                                                           Chambre B
         \kappa_0^{\mathrm{gr}}
                                             \omega_0^{
m gr}
                                                            by_0 \text{ mm}
                                                                           bz_0 \text{ mm}
                                                                                           Eléments définitifs
     400.0178
                  + 100.0906 + 99.6906 +
                                                           106.28 + 102.00
                                                                                          à introduire
                  \pm\,\mu~ en ^{1}/_{100} mm \,=\, Erreur moyenne à craindre sur une mesure de la parallaxe verticale dans le plan du cliché
     1.79
+
No
       v \text{ en } ^{1}/_{100} \text{ mm}
1
2
3
4
5
6
7
8
9
          0.71
          0.51
     +
          0.55
          1.01
     +
          0.34
          0.42
          0.38
          0.30
                       Corrections v des parallaxes verticales mesurées
          0.89
          0.41
     +
11
          0.66
                       Corrections calculées dans le plan du cliché
12
          1.82
13
          1.35
14
     +
          4.28
15
          3.57
     +
16
          1.61
17
          1.40
                         Coefficients de poids et de corrélation des éléments d'orientation
18
          0.08
19
          0.49
   Q_{ii}
                  ×
                                  φ
                                                                  by
                                                                                  bz
                                                  ω
               0.0974
                               0.0815
                                                                               0.0726
                                               0.0580
                                                               0.3510
   ×
               0.0815
                               0.6506
                                                               0.7743
                                                                               0.3811
                                                                                              Unités:
                                               0.1641
   \varphi
               0.0580
                               0.1641
                                               0.6393
                                                                               0.2650
                                                                                             κ, φ, ω: 1gr
   ω
                                                               3.3157
   by
               0.3510
                               0.7743
                                               3.3157
                                                              17.4275
                                                                               1.4454
                                                                                              by, bz, \mu: 1 mm
               0.0726
                               0.3811
                                               0.2650
                                                               1.4454
                                                                               1.5052
     0.56
                  \pm\,\mu^{\mathrm{c}}
             =
     1.45
                  \pm \, \mu^{\mathrm{c}}_{\varphi}
                                                  Erreurs moyennes des éléments d'orientation
     1.43
             =
                  \pm \mu^{c_{\omega}}
     7.48
                  \pm\,\mu_{\it by}
                              en ^1/_{100} mm
                  \pm\,\mu_{\it bz}
    2.20
         ນarphi0.8953
                                                         \kappa bz
                         0.9459
                                         0.9275
                                                         0.9640
                                         \varphi bz
                         \varphi by
                                                                               Coefficients de dépendance
                         0.9471
                                         0.8517
         0.9353
```

wbu

0.0133bybz0.9204

 ωbz

0.9270

 $d^2_{xy} = \frac{Q_{xx} Q_{yy} - Q^2_{xy}}{Q^2_{xy}}$

 $Q_{xx} \ Q_{yy}$

```
No
           Q_{xx}
                          Q_{yy}
                                        Q_{zz}
                        0.1280
        11.9192
                                      48.0591
 1
 2
         23.2540
                        0.1719
                                      54.2026
 3
         32.0353
                        0.6604
                                      60.4832
         27.7912
                        7.3533
                                      58.0272
     +
 5
    +
         33.0124
                       28.4103
                                      65.0047
 6
          7.2295
                       21.8522
                                      42.3924
    +
 7
          0.1011
                       27,2854
                                      56.2235
 8
    +
          0.0024
                       19.1885
                                  +
                                      71.4172
9
     +
          1.0272
                       18.1677
                                  +
                                      81.1890
10
          1.8308
                       12.0411
                                      80.3898
11
                        0.3235
          1.5415
                                      75.1169
     +
12
          2.0921
                         4.5491
                                  +
                                      89.8000
13
          2.8835
                        8.6391
                                      44.6701
                       11.6414
14
          7.2188
                                      35, 1218
         20.4776
     +
15
                       13.9542
                                      35,9505
         19.6428
    +
16
                         8.5464
                                      39.8242
     ++
17
         22.1741
                         3.6212
                                      50.7799
18
         24.3779
                         1.7976
                                      56.0391
19
     +
         13.3751
                         1.3956
                                      51.7616
           Q_{xy}
                         Q_{xz}
                                        Q_{yz}
No
          0.2174
                       23.9338
                                       0.4365
 1
 2
          0.6886
                        35.5025
                                       1.0513
 3
                                       5.4293
          3.9513
                       44.0181
 4
         14.1809
                       40.1578
                                      20.4912
 5
         30.5359
                       46.3245
                                      42.8493
 6
         12.5399
                       17.5064
                                      30.3658
                        2.3846
                                      39.0393
 7
          1.6558
    +
 8
          0.2132
                         0.4124
                                      36.9188
 9
     +
          4.3039
                         9.1323
                                      38.2631
    +
+
10
          4.6643
                        12.1318
                                      30.9074
          0.3247
11
                       10.7609
                                       2.2669
12
          3.0031
                       13.7067
                                      19.6750
13
    +
                       11.3493
          4.9568
                                      19.5094
                       15.9229
14
    +
          9.1113
                                      20.0972
15
    +
         16.8584
                       27.1327
                                      22.3373
16
    +
         12.9143
                       27.9689
                                      18.3883
    ++
17
          8.8528
                   +
                       33.5559
                                  +
                                      13.3969
18
          6.4219
                       36.9610
                                       9.7366
                       26.3119
19
          4.1979
                                       8.2582
No
          d^2_{xy}
                        d^2_{xz}
                                      d^2_{yz}
         0.9690
                      0.0000
                                    0.9690
 1
 \mathbf{2}
    +
         0.8813
                      0.0000
                                    0.8813
 3
        0.2620
                      0.0000
                                    0.2620
    +
                                    0.0160
 4
        0.0160
                      0.0000
        0.0058
 5
    +
                      0.0000
                                    0.0058
 6
        0.0046
                      0.0000
                                    0.0046
 7
     +
         0.0065
                      0.0000
                                    0.0065
 8
        0.0054
                  +
                      0.0000
                                    0.0054
    +
 9
        0.0074
                      0.0000
                                    0.0074
    +
         0.0131
10
                  +
                      0.0000
                                    0.0131
    +
11
         0.7886
                      0.0000
     +
                                    0.7886
12
    +
         0.0524
                      0.0000
                                    0.0524
13
         0.0137
                      0.0000
                                    0.0137
14
     +
         0.0121
                      0.0000
                                    0.0121
15
     +
         0.0054
                      0.0000
                  +
                                    0.0054
    \dot{+}
16
         0.0065
                      0.0000
                                    0.0065
17
    +
         0.0240
                  +
                      0.0000
                                    0.0240
        0.0589
18
                      0.0000
                                    0.0589
19
    +
        0.0559
                      0.0000
                                    0.0559
```

Coefficients de poids et de corrélation des coordonnées x, y, z de l'image plastique

 $Unit\acute{e}$: 1 mm si μ est exprimé en millimètres

```
N^{o}
           x_B
                         y_B
                                      z_B
                        3.09
                                   287.87
                                                                           1.92
                                                                                      37.28
 1
           8.14
                                                             18.56
 2
    +
          39.87
                        7.12
                                    292.17
                                                         ++
                                                             25.93
                                                                           2.23
                                                                                      39.59
 3
    +
          62.49
                       26.90
                                                             30.43
                                                                           4.37
                                   294.03
                                                                                      41.82
 4
          47.31
                       96.57
                                   287.28
                                                             28.35
    +
                                                         +
                                                                         14.58
                                                                                      40.96
 5
    +
          52.18
                      174.17
                                   285.81
                                                         +
                                                             30.90
                                                                     +
                                                                         28.66
                                                                                      43.35
 6
          42.28
                      184.54
                                   264.48
                                                         +
                                                             14.46
                                                                      +
                                                                         25.14
                                                                                  +
                                                                                      35.01
                                                         ++
                                                                         28.09
         140.44
                      189.28
                                   260.77
                                                              1.71
                                                                     +
                                                                                  +
                                                                                      40.32
                                                                                                     Erreurs moyennes provenant de
                      149.16
                                                              0.26
         153.11
                                    278.79
                                                                          23.55
                                                                                  +
                                                                                      45.44
                                                                                                     l'orientation relative
                                                         +
         182.56
                      136.01
                                   276.13
                                                              5.45
                                                                          22.92
                                                                                      48.45
10
         192.36
                                                              7.28
                      108.53
                                   270.75
                                                                         18.66
                                                                                      48.21
                                                         +
                                                                                  +
                                                                                                      en centimètres
                                                                                                                      Echelle 1:1
11
         189.76
                                                              6.68
                                                                                      46.60
    .
                        4.55
                                   267.08
                                                         +
                                                                           3.06
                                                                                  +
12
    ___
         194.00
                       73.07
                                   278.44
                                                         +
                                                              7.78
                                                                          11.47
                                                                                      50.96
13
          81.64
                      130.59
                                    274.96
                                                         +
                                                              9.13
                                                                          15.80
                                                                                      35.94
14
          28.50
                      159.27
                                    271.31
                                                             14.45
                                                                          18.35
                                                                                      31.87
                                                         +
15
    +
          52.25
                      155.39
                                    269.97
                                                         +
                                                             24.33
                                                                          20.09
                                                                                      32.24
16
    +
          43.40
                      119.80
                                    277.51
                                                             23.83
                                                                          15.72
                                                                                      33.93
                  +
                                                         +
                                                                                  +
                                                                     +
17
          41.95
                       72.23
                                   292.75
                                                             25.32
                                                                          10.23
    1
                                                         +
                                                                                      38 32
18
    +
          45.07
                       47.94
                                    298.03
                                                         +
                                                             26.55
                                                                           7.21
                                                                                      40.25
19
           0.94
                       46.23
                                   296.19
                                                             19.67
                                                                           6.35
                                                                                      38.69
```

```
_{0.0}^{m_2}
                                 \substack{m_3\\0.0}
                                               ^{m_4}_{0.0}
                                                             ^{m_5}_{0.0}
                                                                                              Etat I
      1.0
             +
                                          +
                 d\varkappa^{c}
                                d\phi^{c}
                                                d\omega^{c}
                                                               dby
                                                                               dbz
                 0.44
                                0.00
                                                               0.00
                                                                               0.00
                                                0.00
                                                                   en ^{1}/_{100} mm
                                                            \delta z
                                \delta x
N^{o}

    \begin{array}{c}
      pv_{B} \\
      0.0
    \end{array}

                                               \delta y
+++++++++++++++++
                                0.1
                                              0.1
                                                            0.1
                  0.1
                                0.2
                                              0.4
                                                            0.3
            +
            +
                  0.2
                                0.8
                                              0.6
                                                            1.1
                  0.2
                                2.6
                                              0.8
                                                            3.8
                  0.2
                                                            6.9
                                4.9
                                              3.6
                                                                               Variation des coordonnées
                  0.2
                                2.8
                                                                     \frac{\delta y}{\delta z}
                                              5.1
                                                            6.7
                                                                               restituées
                  0.6
                          +
                                0.3
                                              6.4
                                                            6.8
                                                                               Echelle 1:1 Unité: 1 cm
                  0.6
                                0.0
                                                            5.7
                  0.7
                                0.6
                                              4.5
                                                            5.1
                                                                      Ces erreurs proviennent uniquement de la variation
      10
                  0.7
                                0.6
                                              3.6
                                                            4.0
                                                                      des éléments de l'orientation relative (dx_B, d\varphi_B, \ldots, dbz_B)
                                0.0
                  0.8
                                              2.0
                                                            0.1
      11
                                              2.8
                          +
      12
                  0.7
                                0.4
                                                            2.9
                                                                         pv_B = \text{parallaxe verticale calcul\'ee}
      13
                  0.3
                                1.3
                                              3.2
                                                            5.0
                                                                         dans le plan du cliché
      14
                  0.1
                                2.7
                                              3.8
                                                            6.0
                                                                                       Unité: 1/100 mm
                                              2.8
      15
                  0.2
                                4.4
                                                            5.8
                                3.2
                  0.2
                                              1.5
                                                            4.6
      16
                  0.2
                                1.9
                                              0.3
                                                            2.9
      17
                  0.2
                                        +
                                                            2.0
                                1.3
                                              0.2
      18
      19
                                1.0
                                              0.3
                                    /\left[(pv)^2\right]
                                                 Unité: ^{1}/_{100} mm
      0.4
             =
           (1 + \lambda)
                                                 d\alpha^{c}
                                                                                \Delta z_{
m cm} \ 0.612712220
      0.100001480
                                           0.283219937 +
                                                                     0
                          +
                                1
      \Delta\omega^{c}
                   \Delta \varphi^{c}
      0.8
              +
+
                   f_z \, \mathrm{cm} \ 0.1
      f_scm
      2.0
+
              +
No
                  \begin{matrix}v_{x_i}\\0.3\end{matrix}
                                egin{array}{c} v_{\mathbf{y}_i} \ 1.7 \end{array}
+++++++++++++++
                  0.2
                                1.6
                                              0.0
       3
                  0.4
                          ++
                                        +++
                                1.5
                                              0.0
                                              0.2
                  1.4
                                0.7
       5
                                1.9
                  2.6
                                              0.3
       6
             +
                  0.8
                                2.1
                                              0.2
                                                         Erreurs résiduelles
                                2.0
                                              0.2
                                                         des coordonnées restituées
                                0.3
                                              0.1
                                                         après orientation absolue
                                        ++
                  1.3
                                0.3
                                              0.1
      10
                  0.9
                                              0.0
                                1.1
                  1.0
                                        +
      11
                                2.3
                                              0.1
                                              0.0
                                1.2
                                                                   en centimètres
      12
                  2.5
                           +
                                                         \begin{matrix}v_{y_i}\\v_{z_i}\end{matrix}
      13
             +
                  1.1
                                1.0
                                              0.0
                                                                   Echelle 1:1
      14
                  0.2
                                2.4
                                              0.1
                  2.3
                                2.5
                                        \dot{+}
      15
      16
                  1.6
                                1.0
                                              0.0
                                              0.2
      17
                  0.9
                                0.5
                                              0.2
                                1.0
                  0.6
      18
                                              0.2
                                1.2
      19
                  0.1
                                                                                             Etat II
```

0.0+ 1.0 + 0.0+ 0.0+ 0.00.999670512 + 0 - 0.345718861 - 1 + 0.955831064 - 8+ 2 0.00 1.05 0.00 0.00 0.0 + 0.8 + 0.00 13.5 0.3 27.1 1.2 2.1 + + +++++++++++++++ 0.7 2 0.0 18.6 + 28.4 0.0 1 0.21.7 ++++++++++++++++ 3 0.0 21.5 2.8 29.5 2 0.3 0.1 1.0 19.2 9.7 27.7 0.13 1.0 +++ 0.1 2.7 19.7 17.7 27.7 5 0.3+ 4 0.1 0.0 1.0 0.3 9.7 15.7 23.6 + 0.0 0.3 5 1.1 1.2 18.4 28.8 2.8 6 0.7 4.5 8 0.7 0.215.7 33.1 2.6 0.8 0.5 4.0 15.5 35.9 9 0.8 + + + 0.4 0.5 + 0.4 12.6 10 0.7 5.4 36.1 0.5 5.0 0.0 + 0.6 35.0 11 10 0.9 1.4 1.9 12 0.5 5.7 8.6 37.5 11 0.6 0.4 1.5 13 + 0.4 6.8 11.7 26.7 1.8 2.8 0.7 12 + 11.0 13.8 24.2 14 ++++ 0.8 3.3 13 0.8 18.5 14.9 24.6 15 0.3 1.7 14 0.3 + 3.5 25.7 16 0.218.0 11.5 15 0.7 0.3 0.1 17 0.1 18.8 7.3 28.5 16 + 0.4 0.20.0 19.5 5.0 29.6 18 0.1 17 0.5 0.3 1.2 28.6 14.5 4.5 19 0.0 18 0.9 0.3 1.9 0.4 0.4 0.1+ 0.7 + 19

```
+\ 0.100000171\ +\ 1\ +\ 0.128501801\ -\ 1\ -\ 0.612712220\ -\ 10
    0.0 + 0.0 + 1.0
                           + 0.0 + 0.0
+
+
    3
           0.00
                      0.00
                             +
                                 0.14 + 0.00 - 0.00
                                                                       + 0.0 - 0.0
                  +
                                1.0
            0.3
                      0.0
                                         0.0
                                                                            0.3 +
                                                                                     0.4
                                                                       +
+++++++++++++
     2
         +
            0.3
                      0.0
                            +
                                1.0
                                          0.0
                                                                                    0.0
                                                                                             0.0
                                                                                                      0.1
                                                                            1 ---
            0.3
                                1.0
                      0.1
                            +
                                          0.1
                                                                            2
                                                                                    0.0
                                                                                              0.1
                                                                                                       0.1
            0.4
                      0.1
                                1.2
                                          0.2
                                                                            3
                                                                                    0.1
                                                                                              0.0
                                                                                                        0.1
            0.5
                      0.3
                                1.6
                                          0.4
                                                                                    0.2
                                                                                              0.2
                                                                                                        0.4
     6
            0.5
                      0.1
                            +
                                          0.4
                                1.1
                                                                                          ++
                                                                        +
                                                                                    0.4
                                                                                              0.6
                                                                                                       0.8
     7
            0.5
                      0.1
                  +
                                0.5
                                          1.2
                                                                                +
                                                                                    0.0
                                                                                              0.2
                                                                                                        0.2
     8
        +
            0.4
                      0.0
                                0.7
                                          1.0
                                                                                                   +
                                                                                    0.0
                                                                                              0.4
                                                                                                        0.5
     9
            0.4
                      0.1
                                0.6
                                                                                    0.0
                                                                                              0.2
                                                                            8
                                                                                                        0.4
    10
        +
            0.4
                      0.1
                                0.7
                                          0.9
                                                                                              0.2
                                                                                    0.1
                                                                                                        0.5
    11
            0.3
                      0.0
                            +
                                0.9
                                     +
        +++
                                          0.0
                                                                                                    +
                                                                            10
                                                                                    0.1
                                                                                              0.2
                                                                                                        0.3
                 +
            0.4
                      0.1
                            ++
                                0.8
                                          0.6
                                                                                +
                                                                            11
                                                                                    0.1
                                                                                              0.0
                                                                                                        0.4
                      0.1
    13
            0.4
                                0.9
                                          0.5
                                                                            12
                                                                                    0.2
                                                                                              0.1
                                                                                                        0.9
    14
            0.5
                      0.1
                                1.1
                                          0.2
                                                                            13
                                                                                    0.0
                                                                                              0.1
                                                                                                        0.4
        +
                  ++
                            ++
    15
            0.5
                      0.3
                                1.4
                                          0.4
                                                                                ++
                                                                                         ++++
                                                                            14
                                                                                    0.0
                                                                                              0.0
                                                                                                        0.0
    16
            0.4
                      0.2
                                1.2
                                      +
                                          0.2
                                                                                                   +
                                                                            15
                                                                                    0.3
                                                                                              0.3
                                                                                                        0.7
    17
            0.4
                      0.1
                                1.1
                                      +
                                          0.1
                                                                           16
17
                                                                                ++
                                                                                                   +++
                                                                                              0.1
                                                                                    0.2
                                                                                                        0.5
    18
            0.4
                  +
                      0.1
                                1.1
                                      +
                                                                                    0.1
                                                                                              0.0
                                                                                                        0.3
    19
            0.4
                      0.0
                                                                            18
                                                                                              0.0
                                                                                +
                                                                                    0.1
                                                                                                        0.2
+
    0.4
                                                                            19
                                                                                    0.0
                                                                                              0.0
                                                                                                        0.0
```

Etat IV

```
0.0 + 0.0 + 0.0 + 1.0 + 0.0
                                                                         +\ 0.100000004\ +\ 1\ -\ 0.689814479\ -\ 4\ +\ 0.287974744\ -\ 11
+
            0.00
                       0.00
                                 0.00 + 0.76
    4
       +
                             +
+
                  +
                                                       0.00
                                                                         +
                                                                             0.0 - 0.0
             0.4
                       0.0
                                           0.0
                                                                             0.0 + 0.0
     1
                                 1.1
                                                                         +
     2
             0.4
++++++++++++++
                       0.0
                                 1.1
                                           0.0
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
     3
             0.4
                   +
                       0.0
                                 1.1
                                           0.0
                                                                              2
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
     4
             0.4
                   +
                       0.0
                                 1.1
                                       +
                                           0.0
                                                                              3
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
                  +
             0.4
                       0.0
                                 1.1
                                       +
                                           0.0
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
             0.4
                       0.0
                                           0.0
                                 1.1
                                                                              5
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
                                                                         +++++++++++
             0.4
                       0.0
                                 1.1
                                           0.0
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
                       0.0
             0.4
                                 1.1
                                           0.0
                                                                                                     <u>+</u>
_
                                                                                  ++++
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
     9
             0.4
                       0.0
                                 1.1
                                           0.0
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
    10
             0.4
                       0.0
                                 1.1
                                           0.0
                                                                                      0.0
                                                                                            +
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
    11
             0.4
                       0.0
                                 1.1
                                           0.0
                                                                              10
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
                                                                                            +
    12
             0.4
                   +
                       0.0
                                 1.1
                                                                                                          0.0
                                                                              11
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
             0.4
                       0.0
    13
                                 1.1
                                           0.0
                                                                              12
                                                                                  +
                                                                                      0.0
                                                                                            +
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
    14
             0.4
                       0.0
                                 1.1
                                           0.0
                                                                              13
                                                                                  +
                                                                                      0.0
                                                                                            +
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
                  ++
    15
             0.4
                       0.0
                                           0.0
                                 1.1
                                                                              14
                                                                                      0.0
                                                                                            +
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
    16
             0.4
                       0.0
                                 1.1
                                           0.0
                                                                                            <u>+</u>
+
                                                                              15
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
    17
             0.4
                  +
                       0.0
                            ___
                                 1.1
                                       +
                                           0.0
                                                                              16
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
                                                                                                      \dot{+}
                                                                                                          0.0
    18
             0.4
                   +
                       0.0
                                 1.1
                                           0.0
                                                                                                0.0
                                                                              17
                                                                                      0.0
                                                                                                          0.0
    19
             0.4
                       0.0
                                           0.0
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
                                                                              18
                                                                                                          0.0
+
    0.4
                                                                                            +
                                                                              19
                                                                                      0.0
                                                                                                0.0
                                                                                                          0.0
```

Etat V

```
0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 1.0
                                                                       +\ 0.100000828\ +\ 1\ --\ 0.290070655\ --\ 1\ +\ 0.355373088\ --\ 8
           0.00
                      0.00
                                0.00 + 0.00 - 1.73
                  +
                            +
                                                                           0.0 + 0.7
                                                                       +
            0.0
                      0.1
                                         0.3
++++++++++++++
                                0.0
                                                                       +
                                                                           1.4
                                                                                +
                                                                                    0.0
            0.0
                      0.9
                               0.1
                                         1.4
                                                                                   0.8
                                                                                             0.4
     3
                      1.6
            0.1
                               0.4
                                         2.1
                                                                            2
                                                                               +
                                                                                             0.4
                                                                       ++++
                                                                                   0.1
                                                                                                       0.0
            0 3
                      1.1
                               1.4
                                         1.6
                                                                                                  ___
                                                                            3
                                                                                   0.7
                                                                                             0.6
                                                                                                       0.0
                                                                               +
     5
            0.6
                  +
                      1.3
                               2.7
                                         1.8
                                                                                   0.4
                                                                            4
                                                                               +
                                                                                             1.5
                                                                                                       0.0
     6
            0.7
                      0.6
                               0.8
                                         1.5
                                                                                   0 7
                                                                            5
                                                                               +
                                                                                             2.5
                                                                                                       0.0
            0.7
                      0.2
                               1.6
                                                                            6
                                                                                   0.9
                                                                                             0.8
                                                                                                       0.0
                            +
            0.5
                  +
                      0.0
                               1.4
                                         5.3
                                                                            7
                                                                                   0.3
                                                                                             1.5
                                                                                                       0.0
                  +
            0.5
                      0.7
                            +
                               1.8
                                         6.3
                                                                                   0.1
                                                                                             1.2
                                                                                                       0.0
    10
            0.4
                      1.0
                               1.6
                                         6.6
                                                                                   0.6
                                                                               +
                                                                                         +
                                                                                             1.5
                                                                                                       0.0
    11
            0.0
                      0.9
                           +
                               0.1
                                         6.5
                                                                       ++
                                                                           10
                                                                                   0.9
                                                                                             1.3
                                                                                         +
                                                                                                       0.0
    12
            0.2
                  +
                      1.0
                                1.1
                                         6.7
                                                                           11
                                                                               +
                                                                                   0.7
                                                                                             0.5
                                                                                                  +
                                                                                                       0.0
    13
            0.5
                      0.7
                                0.1
                                         2.8
                                                                           12
                                                                                   0.7
                                                                               +
                                                                                             1.9
                                                                                                       0.0
            0.6
                      0.4
    14
                                0.9
                                                                       +
                                                                           13
                                                                                   1.4
                                                                                             0.9
                                                                                                       0.0
        +
                  +
                            +
    15
            0.6
                      1.4
                                2.5
                                     +
                                         1.8
                                                                           14
                                                                                    1.3
                                                                                             0.2
                                                                                                       0.0
    16
        +
            0.4
                      1.0
                               1.8
                            +
                                         1.5
                                     +
                                                                           15
                                                                                   0.3
                                                                                             1.9
                                                                                                       0.0
    17
        +
            0.2
                  +
                      1.0
                               1.0
                            +
                                     +
                                         1.4
                                                                           16
                                                                               +
                                                                                   0.1
                                                                                         +
                                                                       +
                                                                                             1.2
                                                                                                   +
                                                                                                       0.0
    18
            0.1
                  +
                      1.0
                            +
                               0.7
                                         1 5
                                                                           17
                                                                                   0.1
                                                                                             0.5
                                                                                                       0.0
                                                                               +
    19
            0.1
                      0.0
                                0.4
                                         0.0
                                                                           18
                                                                                   0.1
                                                                                             0.3
                                                                               +
                                                                                                       0.0
                                                                                         +
   0.4
+
                                                                           19
                                                                                   0.8
                                                                                             0.1
                                                                                                       0.0
```

```
+\ 0.999814475\ +\ 0\ +\ 0.141019364\ +\ 0\ -\ 0.145580423\ -\ 7
+ 1.0 + 1.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0
                                                              0.4 + 0.5
   1 + 0.25 +
                  0.62
                           0.00 + 0.00
                                          + 0.00
                        +
                                                               1.3 + 1.2
                   7.9
                                   15.9
          0.0
                            0.1 —
          0.1
                  10.8
                            0.7
                                    16.5
                                                                      \mathbf{0.2}
                                                                              0.8
                                                                                      1.0
    3
          0.2
                  12.2
                            2.0 —
                                    16.8
                        +
                                                                      0.1
                                                                              0.8
                                                                                      0.6
                   9.8
          0.2
                            5.3
                                    14.2
                                                                      0.3
                                                                              0.9
                                                                                      1.6
                   8.8
          0.3
                            8.3 —
                                    12.4
                                                                      0.8
                                                                           +
                                                                              0.4
                                                                                      0.5
          0.3
                   4.1
                            6.3 —
                                    10.0
                                                                      1.5
                                                                              0.9
                                                                                      0.5
          0.9
                   0.6
                            7.2
                                    13.1
                                                                                      2.6
                                                                      0.8
          0.8
                   0.1
                            6.6 —
                                   16.3
               +
                        +
                                                                              1.6
                                                                      1.1
                                                                                      1.4
          0.9
                   2.0
                                    18.2
                        +
                            6.6
                                                                      0.9
                                                                           +
                                                                              0.2
                                                                                      0.3
          0.8
                   2.9
                        +
                                    19.0
   10
               +
                            5.4
                                                                      0.5
                                                                              1.1
                                                                                      0.8
                                                                           +
                            0.8 -
          0.4
                   2.9
                                    20.6
   11
                                                               10
                                                                   +
                                                                      0.0
                                                                              1.4
                                                                                      1.1
          0.1
   12
               +
                   3.6
                            6.6
                                    23.7
                                                               11
                                                                           +
                                                                                      0.8
                                                                      0.9
                                                                              1.0
                   4.7
   13
       +
          0.0
                            8.7 -
                                    18.6
                                                               12
                                                                                      1.7
                                                                      1.9
                                                                              0.4
                   8.0 —
                           10.3
   14
          0.0 -
                                    17.6
                                                               13
                                                                   +
                                                                      0.2
                                                                              0.1
                                                                                      2.0
                  13.4 —
                           10.4
                                    17.8
   15
          0.1
                                                               14
                                                                                      2.1
                                                                  +
                                                                      0.0
                                                                              0.4
   16
          0.0 —
                  12.4 -
                            7.7 —
                                   17.7
                                                               15
                                                                      0.9
                                                                                      0.0
                  12.2
          0.0 —
                            4.5
                                    18.4
   17
                                                               16
                                                                      0.7
                                                                              0.5
                                                                                      0.0
                  12.2 —
                            2.8 —
                                   18.6
   18
          0.1 -
       +
                                                               17
                                                                     0.8
                                                                              0.1
                                                                                      0.8
                  9.1 -
                            2.8 - 17.9
   19
      -0.0 -
                                                               18
                                                                     0.8
                                                                           +
                                                                              0.4
                                                                                     1.2
+ 0.4
                                                              19 - 0.3 + 0.6 + 0.3
```

```
No
       d^2_{xy}
                 d^2_{xz}
                           d^2_{yz}
   + 0.9690 - 0.0000 + 0.9690
   + 0.8813 - 0.0000
                       + 0.8813
   + 0.2620 - 0.0000
                       + 0.2620
   + 0.0160 - 0.0000
                       + 0.0160
     0.0058 + 0.0000
                         0.0058
     0.0046
             + 0.0000
                          0.0046
     0.0065
             + 0.0000
                          0.0065
     0.0054 + 0.0000
                         0.0054
     0.0074 - 0.0000
                         0.0074
  + 0.0131 + 0.0000
10
                      + 0.0131
  + 0.7886 - 0.0000
                      +\ 0.7886
12
   + 0.0524 - 0.0000
                         0.0524
     0.0137 - 0.0000
13
                         0.0137
14
     0.0121 + 0.0000
                         0.0121
     0.0054 + 0.0000
15
                          0.0054
16
     0.0065 - 0.0000
                          0.0065
17
     0.0240 + 0.0000
                         0.0240
18 + 0.0589 - 0.0000 + 0.0589
19 + 0.0559 + 0.0000 + 0.0559
```

Coefficients de dépendance des coordonnées autographe

$$\begin{array}{l} d^2_{{\it xy}} = d^2_{{\it yz}} \\ d^2_{{\it xz}} = 0 \end{array}$$

Coordonnées autographe en millimètres

```
No
        x_B
        8.14
                  3.09
                       + 287.87
 1
 2
       39.87 -
                  7.12
                       + 292.17
 3
       62.49 -
                 26.90
                       + 294.03
       47.31 -
                 96.57
                          287.28
       52.18 - 174.17
                       +285.81
 5
       42.28 - 184.54
                          264.48
      140.44 - 189.28
                          260.77
      153.11 - 149.16
                         278.79
 9 - 182.56 - 136.01
                       + 276.13
10 - 192.36 - 108.53
                       +270.75
11 - 189.76 -
                  4.55
                       + 267.08
12 - 194.00
            +
                 73.07
                       + 278.44
13 —
       81.64
                130.59
                          274.96
                          271.31
14 -
       28.50
                159.27
15 +
       52.25
                155.39
                          269.97
16
       43.40
                119.80
                          277.51
17
       41.95
                 72.23
                       +292.75
             +
                       + 298.03
18 +
       45.07
                 47.94
19 —
        0.94 +
                 46.23
                       + 296.19
```

Erreurs moyennes des points restitués Echelle 1:1 Unité: 1 cm

```
\pm \mu_x
          \pm \mu_{
u}
                   \pm \mu_z
18.56 +
                + 37.28
           1.92
25.93 +
                + 39.59
           2.23
30.43 +
           4.37
                +41.82
28.35 + 14.58
                +40.96
30.90 +
         28.66
                   43.35
14.46 +
          25.14
                   35.01
         28.09
 1.71 +
                   40.32
 0.26 +
         23.55
                   45.44
 5.45 +
         22.92
                   48.45
 7.28 +
                +48.21
         18.66
 6.68
           3.06
                   46.60
 7.78
         11.47
                   50.96
      +
 9.13
         15.80
                   35.94
         18.35
14.45
                   31.87
24.33
         20.09
                   32.24
23.83
         15.72
                   33.93
25.32
         10.23
                + 38.32
      +
26.55 +
           7.21 + 40.25
19.67 +
          6.35
                + 38.69
```

Ces erreurs ne proviennent que de l'orientation relative

(A suivre)