

Libérer la Station Totale

■ Joël & Nicolas VAN CRANENBROECK

Si les cannes des récepteurs GNSS RTK IMU se sont libérées de la contrainte d'être maintenues verticalement lors de la prise des données, si récemment les cannes porte-prisme se sont également libérées grâce à l'adjonction d'un capteur IMU (Inertial Measurement Unit), comment libérer les stations totales de cette contrainte liée à la gravité ? Cet article est le prolongement de celui écrit et publié dans XYZ en 1982 par Robert Vincent [1] qui concluait par "une pensée pour les futurs "toponautes" de l'espace qui pourront grâce à ces formules s'adonner aux joies des canevas topométriques en état d'apesanteur". Il s'agissait d'intersection spatiale et de relèvement.

Introduction

Aujourd'hui, avec les stations totales permettant de mesurer la distance sur des prismes, des cibles rétro réfléchissantes et même sur des surfaces quelconques ayant une bonne réflectivité, on peut se demander si on a encore intérêt à considérer uniquement les observations de directions horizontales et zénithales. Même dans les mesures industrielles, on utilise des laser trackers qui utilisent des interféromètres laser pour atteindre des précisions de l'ordre de quelques dizaines de microns sur des courtes distances.

Les méthodes de détermination des coordonnées des stations totales et de l'orientation du cercle horizontal ont changé et la combinaison des directions horizontales et zénithales avec les distances ont donné lieu à la méthode dite de la station libre. Au lieu de transmettre les coordonnées d'une mise en station à l'autre par la méthode de polygonaion, on fait appel à des points de contrôle situés aux alentours, ce qui permet également d'enchaîner ces stations libres comme exposé dans [2].

Ce procédé de "station libre" se calcule classiquement par la méthode des moindres carrés en assignant à chaque observation une équation linéarisée. Cela suppose également que l'axe principal de la station totale soit aligné le long de la verticale. Si on débranche le compensateur et que la station totale se libère de l'asservissement à la gravité, on peut considérer les coordonnées tri-dimensionnelles des points observés dans le système de coordonnées locales (arbitraire) et procéder à une transformation 3D avec les coordonnées des points de contrôle telle que décrit en [3]. On peut également ne connaître que l'une ou l'autre des coordonnées (souvent des points déterminés en X et Y ou bien seulement en Z).

Notre proposition est de considérer cette fois, non seulement les angles issus de la mesure des directions comme Robert Vincent l'a décrit dans son article et dénommé relèvement spatial [1], mais également les distances si celles-ci sont

disponibles. On traite également le cas où certaines distances peuvent être mesurées et non pas toutes celles associées aux visées sur les points de contrôle.

Le développement mathématique que celui-ci expose est largement inspiré du procédé photogrammétrique de même appellation. Le relèvement spatial photogrammétrique est le problème fondamental le plus ancien de la photogrammétrie numérique. On pourrait penser a priori que l'exploitation numérique des images demande, en premier lieu, la solution de ce problème, c'est-à-dire qu'elle exige la détermination des coordonnées du point de vue et des éléments absolus d'orientation angulaire du système d'axes de l'image par rapport aux axes de coordonnées du système terrain [4].

L'intérêt de notre proposition est de libérer la station totale de son asservissement à la gravité, de travailler donc en état d'apesanteur : sur des sites tels que les hautes tours dont la variation de leur axe principal due à la pression du vent, les mouvements des grues et des flèches de distribution du béton ou les vibrations d'une structure métallique, empêche le bon fonctionnement des compensateurs dont sont pourvus les stations totales aujourd'hui. Elle peut également être le départ de mise en station non nivelée plutôt que d'utiliser des dispositifs autonivelants [5].

Nous avons développé une application qui a été utilisée par la société Obayashi corporation qui construit la tour SkyTree au Japon. C'est une tour de diffusion numérique, inaugurée en 2012 dans le quartier de Sumida aux abords d'Asakusa, au nord-est de la capitale. Elle est l'une des plus hautes du monde, avec un point culminant à 634 mètres.

L'autre application a été réalisée pour une opération de *monitoring* du phare de Gènes en Italie où les stations totales étaient fixées sur des supports instables et dont les compensateurs

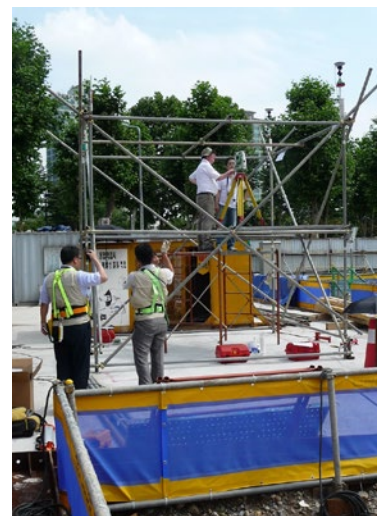


Figure 1. Validation de la méthode sur le site de construction de la Lotte World Tower à Séoul en Corée du Sud.

étaient après un certain temps, hors de la plage de mesure. Avant, et après chaque cycle de mesure, ces stations totales réalisaient les mesures sur des points connus et notre logiciel exploitait la méthode exposée pour pallier le défaut de mise en station.

Développements

■ Relèvement spatial

Nous devons reconnaître, pour notre part, que les développements exposés par Robert Vincent se basaient sur l'expression géométrique des distances entre les droites spatiales pour obtenir les équations normales, alors que nos développements se basent directement sur l'expression de ces droites. De la station totale T, on observe le point P. On peut écrire les coordonnées des deux points $[X_T, Y_T, Z_T]$ et $[X_P, Y_P, Z_P]$.

On observe des directions angulaires H_Z, V_Z et la distance D_S de la station totale T vers le point P. Celles-ci peuvent s'exprimer sous forme de cosinus directeurs ou de paramètres directeurs :

$$\begin{aligned} a &= \sin H_Z \cdot \sin V_Z \\ b &= \cos H_Z \cdot \sin V_Z \\ c &= \cos V_Z \end{aligned} \quad (1)$$

L'équation de la droite (TP) dans l'espace s'écrit, en fonction des observations :

$$\frac{x-x_T}{a} = \frac{y-y_T}{b} = \frac{z-z_T}{c} \quad (2)$$

Ou encore :

$$\frac{x-x_T}{z-z_T} = \frac{a}{c} \quad \text{et} \quad \frac{y-y_T}{z-z_T} = \frac{b}{c} \quad (3)$$

Ces deux rapports sont appelés paramètres directeurs réduits :

$$u = \frac{a}{c}, v = \frac{b}{c} \quad \text{soit} \quad \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

Ou encore :

$$u = \sin H_Z \cdot \text{tg } V_Z ; \quad v = \cos H_Z \cdot \text{tg } V_Z \quad (4)$$

On peut aussi écrire cette même droite (TP) à partir des coordonnées approchées :

$$\frac{x-x_T}{x_P-x_T} = \frac{y-y_T}{y_P-y_T} = \frac{z-z_T}{z_P-z_T} \quad (5)$$

En utilisant la même formulation que ci-dessus, on obtient :

$$\frac{x-x_T}{z-z_T} = \frac{x_P-x_T}{z_P-z_T} = U ; \quad (6)$$

$$\frac{y-y_T}{z-z_T} = \frac{y_P-y_T}{z_P-z_T} = V \quad \text{soit} \quad \begin{bmatrix} U \\ V \\ 1 \end{bmatrix}$$

Ce sont les paramètres directeurs réduits.

Si les rayons homologues correspondent (s'ils sont colinéaires), on obtient :

$$u_i = U_i \quad \text{et} \quad v_i = V_i$$

Si tel n'est pas le cas, on devra donner à chacun de ces paramètres des accroissements différentiels tels que :

$$U_i + dU_i = u_i + du_i \quad (7)$$

$$V_i + dV_i = v_i + dv_i$$

Ces accroissements

sont le résultat de déplacement des deux faisceaux l'un vis-à-vis de l'autre.

Les expressions (6) et (7) donnent en dérivant (6) :

$$dU_i = \left(\frac{x-x_T}{z-z_T} \right)' = -\frac{1}{z_P-z_T} dx_T - \frac{U_i}{z_P-z_T} dz_T$$

$$dV_i = \left(\frac{y-y_T}{z-z_T} \right)' = -\frac{1}{z_P-z_T} dy_T - \frac{V_i}{z_P-z_T} dz_T$$

$$U_i + dU_i = U_i - \frac{1}{z_P-z_T} dx_T - \frac{U_i}{z_P-z_T} dz_T \quad (8)$$

$$V_i + dV_i = V_i - \frac{1}{z_P-z_T} dy_T - \frac{V_i}{z_P-z_T} dz_T$$

Pour pouvoir égaliser les expressions, il faut introduire une matrice de rotation M telle que :

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Cette matrice de rotation peut s'écrire sous forme simplifiée si on fait l'hypothèse de rotations faibles ($\cos = \pm 1$ et $\sin = 0$ angle exprimé en radian)

$$M = \begin{bmatrix} 1 & -\gamma & \beta \\ \gamma & 1 & -\alpha \\ -\beta & \alpha & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Avec α, β, γ les angles de rotation respectivement autour de X, Y et Z.

On remplace (10) dans (9) et on obtient :

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\gamma & \beta \\ \gamma & 1 & -\alpha \\ -\beta & \alpha & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

D'où l'on peut tirer :

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u & -\gamma v & \beta \\ \gamma u & v & -\alpha \\ -\beta u & \alpha v & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Les paramètres réduits s'expriment alors :

$$U = \frac{u - \gamma v + \beta}{-\beta v + \alpha v + 1} \quad (13)$$

$$V = \frac{\gamma v + v - \alpha}{-\beta v + \alpha v + 1}$$

En considérant que pour de faibles angles nous avons $(1 - \alpha)^{-1} \cong (1 + \alpha)$ nous pouvons après un développement limité au premier ordre de l'expression des paramètres réduits obtenir :

$$U = u - \alpha uv + (1 + u^2)\beta - \gamma v \quad (14)$$

$$V = v - (1 + v^2)\alpha + uv\beta - \gamma v$$

En égalant les deux expressions différentielles, on peut finalement écrire les deux équations d'observation suivantes se rapportant aux points T et P :

$$\begin{bmatrix} U - u \\ V - v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{z_P-z_T} & 0 & \frac{-U}{z_P-z_T} & \frac{-1}{z_P-z_T} & 0 & \frac{U}{z_P-z_T} & -uv & (1+u^2) & -v \\ 0 & \frac{1}{z_P-z_T} & \frac{-V}{z_P-z_T} & 0 & \frac{-1}{z_P-z_T} & \frac{V}{z_P-z_T} & -(1+v^2) & uv & -u \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dx_T \\ dy_T \\ dz_T \\ \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} \quad (15)$$



Dans notre cas, le point P est connu comme point de contrôle et ne figure plus dans les paramètres inconnus. Les deux équations deviennent :

$$\begin{bmatrix} U - u \\ V - v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & \frac{u}{x_P - x_T} & -uv & (1 + u^2) & -v \\ 0 & -1 & \frac{v}{x_P - x_T} & -v & uv & -u \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dX_T \\ dY_T \\ dZ_T \\ \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} \quad (16)$$

Nous avons six paramètres inconnus et donc il nous faudra au minimum trois points connus pour résoudre ces six équations à six inconnues en ne considérant que les mesures de directions horizontales et zénithales. Si on adjoint les distances obliques, nous disposons alors de neuf équations et d'un degré de liberté de trois et donc d'une certaine redondance.

■ Équation d'une observation d'une distance oblique

L'équation pour la distance oblique entre les points P et T s'établit comme suit :

$$Ds_{PT}^2 = (X_T - X_P)^2 + (Y_T - Y_P)^2 + (Z_T - Z_P)^2 \quad (17)$$

En développant cette expression en série limitée au premier ordre nous obtenons : (18)

$$Ds_{PT}^c = \frac{X_T - X_P}{Ds_{PT}^c} \cdot (dx_T - dx_P) + \frac{Y_T - Y_P}{Ds_{PT}^c} \cdot (dy_T - dy_P) + \frac{Z_T - Z_P}{Ds_{PT}^c} \cdot (dz_T - dz_P)$$

L'équation d'observation s'écrit alors en posant :

$$a = \frac{X_T - X_P}{Ds_{PT}^c}$$

$$b = \frac{Y_T - Y_P}{Ds_{PT}^c}$$

$$c = \frac{Z_T - Z_P}{Ds_{PT}^c}$$

$$v_{Ds_{PT}} = a \cdot dx_P + b \cdot dy_P + c \cdot dz_P - a \cdot dx_T + b \cdot dy_T + c \cdot dz_T + Ds_{PT}^c - Ds_{PT}^m \quad (19)$$

Ds_{PT}^m se réfère à la distance mesurée et Ds_{PT}^c comme étant la distance calculée entre les deux points en connaissant leurs coordonnées approchées.

Comme nous connaissons les coordonnées de P, l'équation d'observation pour une mesure oblique se résume à :

$$v_{Ds_{PT}} = -a \cdot dx_T + b \cdot dy_T + c \cdot dz_T + Ds_{PT}^c - Ds_{PT}^m \quad (20)$$

Nous avons donc toutes les équations d'observation qu'il nous faut pour calculer une station libre sans référence à la gravité en considérant les distances obliques sur un ou plusieurs points connus.

Notons que nous devons obtenir les coordonnées approchées du point de station T.

Coordonnées approchées du point de station

Comme nous disposons d'au moins trois points connus en coordonnées, nous pouvons déterminer le gisement de l'orientation horizontale initiale et par la même, exprimer les directions horizontales sous forme de gisement en recou-

rant à la méthode du relèvement pour autant que le point de station et les points connus ne soient pas cocycliques (cercle dangereux).

En considérant trois points connus A, B et C en coordonnées X,Y et les mesures de direction horizontales sur ces points de la station T, nous obtenons les deux angles α et β comme suit :

$$\alpha = HZ_{TB} - HZ_{TA} \text{ et } \beta = HZ_{TC} - HZ_{TA}$$

Nous obtenons le gisement de (AT) par le procédé de Delambre [8] :

$$\tan G_{AT} = \frac{\frac{X_A - X_B - X_A - X_C + (Y_B - Y_C)}{\tan \alpha} + \frac{Y_A - Y_B - Y_A - Y_C + (X_B - X_C)}{\tan \beta}}{\tan \alpha} \quad (21)$$

Et partant de là, $G_{BT} = G_{AT} + \alpha$ et $G_{CT} = G_{AT} + \beta$

Robert Vincent suggère, si nous disposons des gisements, d'appliquer la méthode de l'intersection spatiale "inversée" .

■ Intersection spatiale

L'intersection spatiale peut se décliner de la même façon à celle exposée ci-dessus.

Nous avons cette fois deux stations A et B connues en coordonnées x, y et z avec les observations suivantes que l'on exprime sous la forme des paramètres directeurs :

$$\begin{aligned} a_A &= \sin G_{AT} \cdot \sin V_{ZAT} \\ b_A &= \cos G_{AT} \cdot \sin V_{ZAT} \\ c_A &= \cos V_{ZAT} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_B &= \sin G_{BT} \cdot \sin V_{ZBT} \\ b_B &= \cos G_{BT} \cdot \sin V_{ZBT} \\ c_B &= \cos V_{ZAT} \end{aligned}$$

Et partant de l'équation de ces deux droites (AT) et (BT) dans l'espace :

$$\frac{x - x_A}{a_A} = \frac{y - y_A}{b_A} = \frac{z - z_A}{c_A} \text{ et } \frac{x - x_B}{a_B} = \frac{y - y_B}{b_B} = \frac{z - z_B}{c_B} \quad (22)$$

Nous obtenons, en développant celles-ci, le système d'équation suivant :

$$\begin{bmatrix} b_A & -a_A & 0 \\ c_A & 0 & -a_A \\ b_B & -a_B & 0 \\ c_B & 0 & -a_B \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_A x_A - a_A y_A \\ c_A x_A - a_A z_A \\ b_B x_B - a_B y_B \\ c_B x_B - a_B z_B \end{bmatrix} \quad (23)$$

Qui nous fournira par la méthode des moindres carrés les valeurs approchées de la station T.

La méthode est dite inversée, car les stations d'intersection sont en fait des points non stationnés.

Une autre façon de procéder, si nous disposons des mesures de distances obliques vers ces points connus, est de déterminer le point approché de station T par multilatération. Géométriquement parlant, il s'agit de l'intersection de trois sphères dont les coordonnées des centres sont connues et dont on connaît les rayons respectifs. Nous avons développé la méthode algébrique pour ce problème qui conduit à obtenir deux solutions et dont il faudra n'en choisir qu'une. Avec quatre points connus et quatre distances, la solution est triviale puisque l'on se retrouve avec un système de trois équations et les trois inconnues du point d'intersection.



■ Itérations et matrice de rotation orthogonale

Comme nous avons considéré dans le développement des angles de faible rotation, nous devons procéder par itération et mettre à jour la matrice de rotation. Celle-ci peut être définie par la matrice d'Olinde Rodriguez [6] qui est strictement orthogonale. Celle-ci se définit comme suit [7] :

$$l = \frac{\alpha}{\theta} ; m = \frac{\beta}{\theta} ; n = \frac{\gamma}{\theta} \text{ avec } \theta = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}$$

$$M = \begin{bmatrix} \cos\theta + l^2(1 - \cos\theta) & lm(1 - \cos\theta) - n \cdot \sin\theta & ln(1 - \cos\theta) + m \cdot \sin\theta \\ lm(1 - \cos\theta) + n \cdot \sin\theta & \cos\theta + m^2(1 - \cos\theta) & mn(1 - \cos\theta) - l \cdot \sin\theta \\ ln(1 - \cos\theta) + m \cdot \sin\theta & mn(1 - \cos\theta) - l \cdot \sin\theta & \cos\theta + n^2(1 - \cos\theta) \end{bmatrix} \quad (24)$$

Lors de la dernière itération, la matrice M permettra de calculer les valeurs des directions horizontales et zénithales pour nous permettre de déterminer n'importe quel autre point dans le système des coordonnées des points de contrôle, que ce soit par rayonnement avec la distance oblique ou bien par intersection avec une autre station. Pour mettre fin au calcul itératif, nous considérerons que l'écart type sur l'unité de poids *a posteriori* doit être inférieur à une valeur donnée.

Exemple numérique

Nous allons illustrer notre approche à l'aide d'un exemple complet. Il est tiré du fichier rapport de notre application CGEOS® CG_SpaceResection (figure 2).

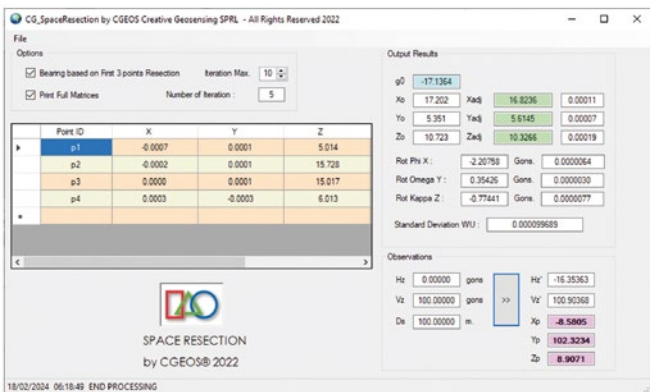


Figure 2. Application CG_Space_Resection développée par CGEOS®

■ Points connus et observations

Nous commençons par déterminer le gisement de la visée initiale en réalisant un relèvement sur les trois premiers points et nous obtenons la valeur de -17.1364 gons

| Point | X | Y | Z | H _z | V _z | D _s |
|-------|---------|---------|---------|----------------|----------------|----------------|
| p1 | 10.2330 | 26.6210 | 5.0140 | -3.44940 | 114.0679 | 22.6480 |
| p2 | 30.0170 | 36.4020 | 15.7280 | 42.48250 | 90.3715 | 33.9280 |
| p3 | 36.8140 | 36.1110 | 15.0170 | 53.55420 | 92.7740 | 36.7650 |
| p4 | 50.2030 | 26.2170 | 6.0130 | 80.98270 | 108.6634 | 39.4620 |

Nous calculons ensuite les paramètres directeurs pour les observations.

Cosinus directeurs Point n° 1

- ai = -0.31002865
- bi = 0.92511654
- ci = -0.21918400

Cosinus directeurs Point n° 2

- ai = 0.38327444
- bi = 0.91126275
- ci = 0.15066817

Cosinus directeurs Point n° 3

- ai = 0.53787265
- bi = 0.83538296
- ci = 0.11326217

Cosinus directeurs Point n° 4

- ai = 0.83523771
- bi = 0.53289121
- ci = -0.13566473

■ Coordonnées approchées

Les coordonnées approchées sont obtenues par le procédé de l'intersection inversée.

- X_a = 17.202 m
- Y_a = 5.351 m
- X_a = 10.723 m

Nous avons tous les éléments pour créer les coefficients des équations d'observation. Les quatre dernières équations se réfèrent aux mesures de distances obliques dont nous n'avons pas appliqué la matrice des poids afin de fournir des valeurs pour les coefficients aisément vérifiables.

■ Équations d'observation et matrice modèle

| | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|
| 0.1751762 | 0 | -0.2138650 | -5.9700857 | -3.0007183 | -4.2207302 |
| 0 | 0.1751762 | 0.6527003 | 17.8145636 | 5.9700857 | -1.4144675 |
| -0.1997818 | 0 | 0.5114698 | 15.3854586 | -7.4710787 | 6.0481438 |
| 0 | -0.1997818 | 1.2393240 | 36.5800429 | -15.3854586 | -2.5438315 |
| -0.2328581 | 0.0000000 | 1.0634026 | 35.0263830 | -23.5522115 | 7.3756572 |
| 0 | -0.2328581 | 1.6678862 | 54.4003193 | -35.0263830 | -4.7489169 |
| 0.2123350 | 0 | 1.4878743 | 24.1832526 | -38.9041056 | -3.9280010 |
| 0 | 0.2123350 | 0.9407595 | 15.4291916 | -24.1832526 | 6.1566310 |
| 0.3017148 | -0.9208112 | 0.2471336 | 0 | 0 | 0 |
| -0.3773233 | -0.9142785 | -0.1473837 | 0 | 0 | 0 |
| -0.5339155 | -0.8374159 | -0.1169139 | 0 | 0 | 0 |
| -0.8391372 | -0.5305732 | 0.1197535 | 0 | 0 | 0 |

■ Vecteur d'observation

- 0.1936106
- 0.4947652
- 0.0163105
- 0.1552442
- 0.1821760
- 0.2129850
- 0.8505709
- 0.5025423
- 0.4509995
- 0.0340986
- 0.0331730
- 0.1350672

La résolution de ce système d'équation à plusieurs inconnues se réalise par la méthode des moindres carrés et nous utilisons une méthode de résolution sans formation des équations normales ni inversion matricielle [9].



■ Résultats de l'ajustement moindres carrés

Écart type sur l'unité de poids = 0.038351

Les coordonnées de la station mises à jour sont :

X = 16.7901 m
Y = 5.6283 m
Z = 10.5802 m

Écart type σ_X = 0.0417 m

Écart type σ_Y = 0.0274 m

Écart type σ_Z = 0.0611 m

La matrice de rotation d'Olinde Rodriguez s'obtient à partir des valeurs estimées des rotations :

| | | |
|------------|------------|------------|
| 0.9992357 | 0.0135041 | -0.0366844 |
| -0.0129573 | 0.9998020 | 0.0151051 |
| 0.0368811 | -0.0146182 | 0.9992127 |

Les observations sont mises à jour en appliquant cette matrice de rotation qui sera mise à jour au fur et à mesure des itérations.

■ Dernière itération

Après cinq itérations, nous obtenons un écart type sur l'unité de poids = 0.000100, ce qui est une valeur inférieure à la limite fixée dans notre application à 0.001.

X = 16.8236 m
Y = 5.6145 m
Z = 10.3266 m

Écart type σ_X = 0.0001 m

Écart type σ_Y = 0.0001 m

Écart type σ_Z = 0.0002 m

La matrice d'Olinde Rodriguez mise à jour :

| | | |
|------------|------------|------------|
| 0.9993249 | 0.0121568 | -0.0346697 |
| -0.0119710 | 0.9999129 | 0.0055613 |
| 0.0347343 | -0.0051425 | 0.9993834 |

■ Vérification du calcul

À titre de vérification, nous pouvons recalculer les valeurs des coordonnées X et Y de T à partir de (3) et calculer la différence avec la solution obtenue, ce qui nous fournit les valeurs suivantes :

| | | |
|----|---------|---------|
| p1 | -0.0007 | 0.0001 |
| p2 | -0.0002 | 0.0001 |
| p3 | 0.0000 | 0.0001 |
| p4 | 0.0003 | -0.0003 |

Conclusions

Les méthodes de calculs implantées par les constructeurs limitent très souvent la créativité des utilisateurs qui reproduisent sur le terrain les conditions auxquelles ces méthodes les figent. Notre méthode, qui est une extension à la distance oblique de la méthode proposée par Robert Vincent, libère l'opérateur d'une mise en station conventionnelle alignée selon la gravité et lui permet de viser des points connus en directions horizontales et zénithales sur des cibles pourvues ou non de réflecteurs pour obtenir les distances.

Elle permet également de s'affranchir d'embase autonivelante dans les opérations d'auscultation et de contrôler les valeurs du compensateur biaxial d'une station totale.

Avec quelques quarante années de recul, nous pouvons exprimer le même souhait que Robert Vincent et le paraphraser en souhaitant que cette méthode permette aux "toponautes" d'évoluer dans les joies de l'état d'apesanteur.

Quant à nous, nous ne manquerons pas de souligner à nouveau, la beauté intrinsèque de ces développements inspirés par les procédés de la photogrammétrie numérique.

Nous croyons, en effet, que la topométrie doit être "créative" pour susciter de nouvelles innovations.

Pour notre part, même si cela semble "vintage", les références d'ouvrages de plus de 40 ans, contiennent toujours des perles qui ne demandent qu'à être exploitées en topométrie. ●

Contacts

Joël van CRANENBROECK, Administrateur de CGEOS®

Nicolas van CRANENBROECK, Administrateur de CGEOS®
cgeos2014@gmail.com

Référence

- [1] *Topométrie spatiale à courte distance*, Robert Vincent, AFT Revue XYZ - N° 11 - 1982.
- [2] *Ajustement en bloc des données de stations totales et de récepteurs GNSS dans les études de déformation*, Joël et Nicolas van Cranenbroeck, AFT Revue XYZ - N° 171 - 2^e trimestre 2022.
- [3] *Détermination indirecte de points sur de grandes structures connues en 3D par corrélation GNSS RTK*, Joël et Nicolas van Cranenbroeck, AFT Revue XYZ - N° 178 - 1^{er} trimestre 2024.
- [4] *Du relèvement spatial à la compensation en bloc de gerbes perspectives par André Verdin*, Institut Géographique Militaire de Belgique, Bulletin de la société belge de photogrammétrie n° 113-114 Mars - Juin 1974.
- [5] <https://geo-laser.de/product/automatik-dreifuss-ad-12/>
- [6] <https://arxiv.org/pdf/2211.07787.pdf>
- [7] *Procédé de l'Institut géographique national de Paris*, André Verdin, Collaborateur Scientifique ITC Delft, Bulletin Trimestriel de la société belge de photogrammétrie n° 103 - Mars-Juin 1971.
- [8] <https://www.aftopo.org/lexique/relevement-sur-trois-points-calcul-dun/>
- [9] *L'orthogonalisation Généralisée, une solution algorithmique au problème des moindres carrés*. Joël van Cranenbroeck, AFT Revue XYZ - N° 172 - 3^e trimestre 2022.

ABSTRACT

If the rods of the GNSS RTK IMU receivers have freed themselves from the constraint of being held vertically when taking data, so recently the prism holder rods have also been freed thanks to the addition of an IMU (Inertial Measurement sensor. Unit), how can we free total stations from this constraint linked to gravity? This article is an extension of that written and published in XYZ in 1982 by Robert Vincent who concluded with "a thought for the future "toponauts" of space who will be able, thanks to these formulas, to indulge in the joys of topometric control networks in a state of weightlessness. It was about spatial intersection and resection.