

Modélisation A Priori Des Paramètres De Précision Pour Le Contrôle Géodésique : Cas Des Auscultations Des Ouvrages D'art Par La Méthode De Micro Géodésie

Joseph OMALOTAHE DIMANDJA,

Ingénieur Géomètre – Topographe et Assistant à l'Institut National du Bâtiment et des Travaux Publics (INBTP)



Résumé – Ce que nous poursuivons derrière cette démarche scientifique est d'exposer le bienfondé d'une surveillance Géodésique des ouvrages (auscultation des ouvrages par la méthodologie géodésique).

Nous nous sommes essentiellement concentrés sur la modélisation à priori des paramètres de précision pouvant permettre de prédire la gravité des dégradations ou non d'une infrastructure.

Cette démarche scientifique et technique est très importante car ça permet de prévenir les catastrophes qui seraient dus à la négligence des paramètres de précision.

Dans le souci de rester cohérent et précis, nous nous sommes concentrés sur le cas des auscultations des ouvrages d'art par la méthode de micro géodésie pour mener à bien cette démarche qui se veut à la fois pédagogique, scientifique et technique.

Après tout calcul inclus nous avons trouvé pour :

- •Les accroissements par rapport à L'axe des abscisses une précision égal à ±1mm;
- Les accroissements par rapport à l'axe des ordonnées une précision égal à $\pm 1mm$;
- l'affaissement ou la dénivellation de l'ouvrage de l'ordre de $d\Delta H_1 = \pm 0$, 19mm.

Mots Clés - Modélisation, A Priori, Paramètres, Précision, Contrôle Géodésique, Micro Géodésie, Ouvrages D'art

INTRODUCTION

Tel un être vivant, il y a lieu de se préoccuper de son état de santé et de son comportement; les ouvrages construits ou réalisés ont aussi un comportement et une durée de vie qui valent la peine d'être surveillés et contrôlés, d'autant plus que ces ouvrages ne peuvent vivre éternellement sans failles.

Bien souvent, nous remarquons que pendant la période d'exploitation, les ouvrages peuvent pivoter, translater, s'affaisser, ... suite à certaines contraintes qui contribuent à l'apparition des dégradations sur ces derniers.

Ainsi, il s'agit de déterminer les différentes structures géodésiques à mettre en place afin d'ausculter voire modéliser les paramètres de précision tout en se basant sur une méthodologie bien précise, une instrumentation et un mode opératoire requis.

C'est dans cette optique de non seulement pérenniser l'ouvrage, rentabiliser l'investissement consenti mais aussi contribuer à la sécurité des personnes utilisant l'ouvrage, ces préoccupations restent les seules motivations qui nous ont conduit de traiter cette thématique.



MÉTHODOLOGIE

1. Age de l'ouvrage et son état d'entretien

L'âge et l'état d'entretien de l'ouvrage sont deux paramètres importants dans les travaux d'auscultations car ils permettent de bien définir la méthodologie ainsi que de bien choisir l'instrumentation à utiliser.

2. Procédé de mesurage

Pour faire une auscultation, il est nécessaire de pouvoir se rattacher à un réseau géodésique. C'est l'une des préoccupations premières que l'ingénieur chargé d'ausculter un ouvrage par la méthodologie géodésique doit avoir. Dans le cas où nous n'avons pas un réseau géodésique aux alentours de l'ouvrage à ausculter, nous devons mettre en place un mini réseau géodésique qui nous servira de rattachement.

Suite à des déformations constatées dans l'ouvrage, nous étions appelés à déterminer les coordonnées (x, y, H) des différents points ciblés non seulement sur l'ouvrage mais aussi autour de ce dernier et grâce au rattachement à un réseau géodésique qui nous permettront de déterminer ces coordonnées avec précisions.

Les différentes coordonnées des mêmes points déterminés à des séries d'instants différents permettent d'estimer par différence les déformations localisées ou mouvement (translation) de l'ouvrage. Pour arriver à un bon rattachement permettant de transférer les coordonnées la hiérarchie suivante est généralement utilisée :

- Identification des points du Réseau primaire ;
- Réseau secondaire ;
- Réseau de contrôle (des témoins)

3. Analyse et choix de l'instrument

La question de l'analyse et de choix de l'instrument est liée à la qualité du résultat que l'on veut présenter.

Pour arriver nous nous sommes basés sur la théorie de 5M d'ISHIKAWA:

- Matière : toutes causes liées aux éléments utilisés dans le processus de fabrication ;
- Milieu : les causes liées à l'environnement ;
- **Méthodes** : y a-t-il des problèmes dans la manière de travailler ? Ici on étudie de potentiels dysfonctionnements ou ralentissement dans les processus de travail et les modes opératoires, des erreurs dans les instruments ou mode d'emploi ;
- Matériel : les équipements, machines, outils, logiciels, s'il y en a qui sont défectueux, obsolètes ou non adaptés ;
- Main d'œuvre : les ressources humaines sont-elles en manque de compétences et de formation, ou mal informées sur la bonne exécution des tâches ? etc.



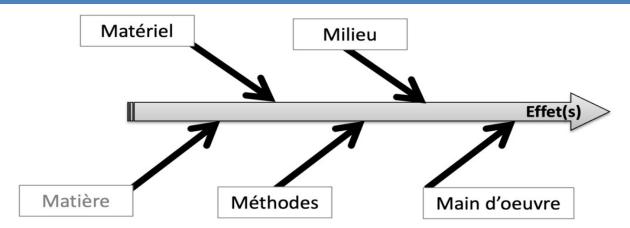


Figure 1: représentation graphique de l'interaction des éléments de la théorie d'ISHIKAWA

4. Procédé de calcul à priori des indicateurs de précision

Une fois les éléments influant sur les indicateurs de précisions connue il est important de passer au procédé de calcul à priori de ces derniers.

Pour y arriver nous avons utilisés :

- Le nivellement de grande précision ;
- La polygonation de précision ;
- L'intersection spatiale.

Notons que les trois procédés cités ci – dessus nous a permis de déterminer les indicateurs de précisions liés :

- Aux accroissements par rapport à L'axe des abscisses ;
- Aux accroissements par rapport à l'axe des ordonnées ;
- A l'affaissement ou la dénivellation de l'ouvrage.

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

1. Options méthodologiques

Il existe plusieurs méthodologies et instrumentations pour faire l'auscultation d'un ouvrage d'art par la methodologie géodésique, celles utilisées dans le cadre de cette recherhe réflète l'aspect pédagogique et didactique que nous conferons à notre démarche scientifique.

2. modes opératoires et instrumentations

2.1. Instrumentation et mode opératoire pour le nivellement de grande précision

Le choix des instruments spéciaux et des modes opératoires rigoureux se justifient par les exigences de précision accrue imposée par le nivellement de précision.

Instrumentation

La classe des niveaux à bulle, à micromètre plan parallèle incorporé, ainsi que le niveau automatique auquel on adjoint le micromètre à lames plan parallèle et ses accessoires.



a. Mode opératoire

Les principes ci – après doivent être de stricte application lorsqu'on veut réaliser un nivellement de grande précision, exempte d'erreurs systématiques de nature topographique (courbe terrestre et réfraction) et instrumentale (horizontalité de la visée et verticalité de la mire :

- ✓ Le respect de la portée limite c'est à dire ne dépensant pas 3xG (G = grossissement);
- ✓ L'utilisation des portées égales et plus au moins courtes de manière à éviter les erreurs de niveau apparent (≈ $D^2(km)/15$);
- ✓ Le stationnement à hauteur appréciable du niveau pas très proche du sol car les visées les plus proches de la surface du sol seraient les plus déviées ;
- ✓ L'utilisation de deux échelles de graduation de la mire, permettant le contrôle de la qualité des lectures initiales ainsi que l'exécution du nivellement aller et retour en plusieurs séries.
 - 2.2. Instrumentation et mode opératoire pour La polygonation de précision

a. Instrumentation

Il y a plusieurs instruments appropriés pour réaliser une polygonation de précision mais dans ce qui nous concerne nous avons opter pour le théodolite au regard de l'aspect pélagique et didactique que nous conférons à cette démarche scientifique.

b. Mode opératoire

Pour réduire au maximum les erreurs dues au défauts de centrage, il faut utiliser la méthode de trois trépieds accompagner de tour d'horizon combiner avec double retournement dans le sens de changer le cercle.

2.2.3. Instrumentation et mode opératoire pour L'intersection spatiale

a. Instrumentation

Pour réussir à faire une intersection spatiale sur les points tracés sur l'ouvrage à présence, il est conseillé d'utiliser la même instrumentation que celle utilisée pour la polygonation de précision (dans notre cas il s'agit de théodolite).

b. Mode opératoire

Il est recommandé d'appliquer la méthode de double retournement a au moins 4 séries de mesures dans la mesure où il faut minimiser tant soit peu les erreurs et espérer obtenir une précision escomptée.



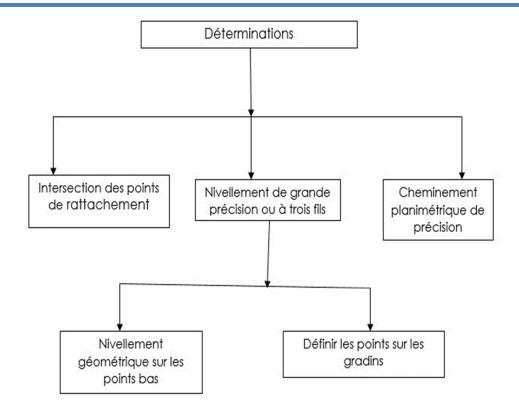


Figure 2 : organigramme des opérations

3. Option d'analyse qualitative à priori

L'analyse qualitative à priori consiste préalablement à tout mesurage ou observation, à présumer de l'ordre de grandeur des indicateurs de précision qu'auraient les observations et les paramètres issues de la dépendance fonctionnelle entre ces observations. Elle porte aussi l'appellation très significative de simulation.

De la précision pour le nivellement de grande précision

Pour atteindre une précision optimale, il y a des procédés ou des éléments qui entrent en compte pour déterminer la précision d'une lecture.

1. Appréciation de l'erreur d'estimation d'une lecture sur une mire

Nous sommes partis d'une hypothèse selon laquelle les erreurs élémentaires prise en compte et calculées sont de nature accidentelle. Les instruments sont de ce fait en bon état et utilisés au mieux de leurs possibilités ; ils ne donnent pas lieu à des erreurs systématiques.

Nous admettons, en définitive que l'erreur d'appréciation ε d'une lecture sur la mire est fonction :

- De la précision du centrage des nivelles du niveau dont la sensibilité est annoncée par le constructeur ;
- Du pouvoir séparateur de l'œil de l'observateur et du grossissement du niveau conditionnant la coïncidence au fil niveleur et à la graduation de l'échelle de la mire ;
- Et de l'estimation du centième des millimètres dans l'échelle micrométrique.



La précision de calage de la nivelle tubulaire d'un niveau est de l'ordre de $\pm 0,2''$. Et la nivelle tubulaire étant rattachée à la ligne de visée de l'appareil, son calage à $\pm 0,2''$ générerait lors d'une lecture arrière ou avant d'un nivellement, une sensibilité de l'ordre de :

$$a = \frac{\pm 0.2 \, x \, 3.14}{180 \, x \, 3600} \, x \, L(m) \approx \pm 10^{-6}$$

Avec L : la portée du nivellement (distance de la station à la mire).

2. Influence du pouvoir séparateur de l'œil

Pour un œil normal, non fatigué; dans des bonnes conditions d'éclairage, on admet qu'il est voisin d'une minute sexagésimale, soit environ 3×10^{-4} Radian.

On peut alors estimer la sensibilité maximale de la coïncidence du fil niveleur à l'axe de la division par

$$\beta' = \pm 3 \ x \ 10^{-4} \ x \ L(m)$$

$$\beta' = \pm 3 \ x \ 10^{-1} \ x \ L(mm)$$

3. Influence du grossissement de l'appareil

Le niveau dispose d'une lunette de haute performance basée sur le principe optique à effet de zoom, son grossissement G et son champs ϑ sont variables en fonction de la visée L

L'expression calculée de l'erreur de coïncidence des traits niveleurs et de l'axe de division $\beta' = \pm 3 \times 10^{-1} \times L(mm)$ représente un scenario à l'œil nu et non sous grossissement **G**. Etant donné que l'appareil améliore les possibilités de l'œil, ce dernier aura pour effet d'améliorer la précision de coïncidence en : $\beta = \frac{\beta'}{6}$

D'où, l'expression définitive de l'erreur de coïncidence devient :

$$\beta = \pm \frac{3 \times 10^{-1}}{G} \times L(mm)$$

• Erreur y d'estimation sur l'échelle micrométrique

Le niveau possède un micromètre à lame à faces parallèles incorporé, permettant des lectures estimées à $\pm 0.01mm$. En outre, la division centimétrique de l'échelle invar est exacte à $\pm 0.02 mm$. Or, la lecture finale procède d'un calcul de la division centimétrique à la valeur lue à l'échelle micrométrique ; ce qui donne, d'après le principe d'additivité des variances l'expression ci – après de γ :

$$\gamma^2 = (0.02)^2 + (0.01)^2$$

$$\gamma = \pm 0.02 \, mm$$

En définitive, chaque lecture sur la mire à l'aide du niveau serait entachée d'une erreur totale ε issue du cumul quadratique des erreurs ci – après :

- *a* : Erreur due au calage des bulles ;
- β : Erreur de coïncidence du fil niveleur à l'axe de la division de l'échelle;
- γ : Erreur d'estimation sur l'échelle micrométrique.

Donc
$$\varepsilon^2 = a^2 + \beta^2 + v^2$$

$$\varepsilon^2 = (10^{-3})^2 x L^2 + 3^2 x (10^{-1})^2 x \frac{L^2}{c^2} + 2^2 (10^{-2})^2$$



$$\varepsilon^2 = 10^{-6} \ x \ L^2 + 9.10^{-2} x \ \frac{L^2}{G^2} + 4.10^{-4}$$

https://ijpsat.org/

$$\varepsilon = \sqrt{10^{-6} \ x \ L^2 + 9.10^{-2} x \ \frac{L^2}{G^2} + 4.10^{-4}}$$
, avec L en mètre, la portée

L'expression de ε est donc une fonction de L et G mieux une fonction d'une fonction car $G = f(l) \Rightarrow \varepsilon = f(L, G) = f(L, f(L))$

La visé minimale étant de l'ordre de 0,45m, on peut admettre dans des conditions normales et exceptionnelles des portées L variant entre 2 et 100m. ceci nous confère ainsi la possibilité d'adopter un grossissement moyen de 34x.

Le terme $9.10^{-2}x \frac{L^2}{G^2} = 9.10^{-2}x \frac{L^2}{34^2} = 8.10^{-5}x L^2$, étant très grand par rapport aux deux autres termes de $\varepsilon = 10^{-6} x L^2 et 4.10^{-4}$ on peut admettre que l'erreur entachant une lecture, en nivellement de grande précision, vaut : $\sqrt{8.10^{-5}x L^2} \approx \pm 9.10^{-3} x L$, avec L en mètre, la portée. Le stationnement se fera en retrait, en raison de la portée de 15m par rapport au point.

Ayant une portée de 15m (L)

$$\varepsilon = \pm 9.10^{-3} \, x \, L$$

$$\varepsilon = \pm 9.10^{-3} \text{ x } 15$$

 $\Rightarrow \varepsilon = \pm 0,135mm$ Est une précision pour une lecture. Or la dénivelée simple est fonction de lecture arrière et lecture avant (schéma ci – dessous)

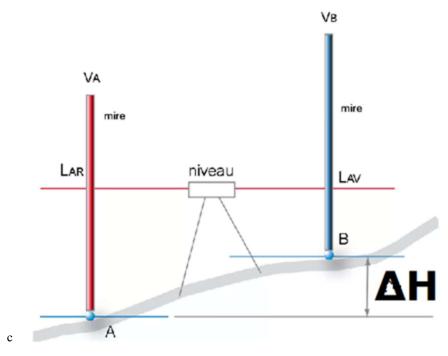


Figure 2:principe du nivellement direct

 $\Delta H_1 = f(LAR, LAV)$

$$d\Delta H_1^2 = \left(\frac{\delta_F}{\delta_{CAR}}\right)^2 (dLAR)^2 + \left(\frac{\delta_F}{\delta_{CAV}}\right)^2 (dLAV)^2$$

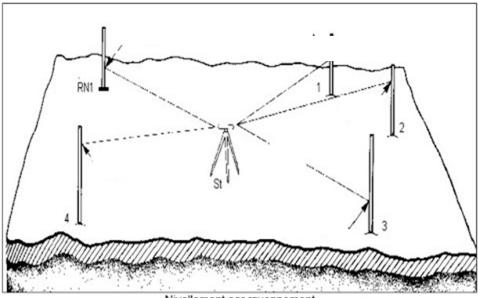
= 1 x (0,135)^2 + 1 x (0,135)^2

https://ijpsat.org/

$$d\Delta H_1^2 = 0.03645 \Rightarrow d\Delta H_1 = \sqrt{0.03645}$$

 $d\Delta H_1 = \pm 0$, 19mm Précision pour une dénivelée.

Le croquis ci – dessous illustre en quelque sorte le pourquoi nous continuons avec notre analyse en prenant quatre dénivelée ; nous aurons à prélever quatre lectures sur un point a raison de deux lectures à gauche et deux autres à droite.



Nivellement par ravonnement

$$= \left(\frac{\delta_F}{d\Delta H_1}\right)^2 (d\Delta H_1)^2 + \left(\frac{\delta_F}{d\Delta H_2}\right)^2 (d\Delta H_2)^2 + \left(\frac{\delta_F}{d\Delta H_3}\right)^2 (d\Delta H_3)^2 + \left(\frac{\delta_F}{d\Delta H_4}\right)^2 (d\Delta H_4)^2$$

$$(d\Delta H)^2 = \left(\frac{1}{4}\right)^2 (0.19)^2 + \left(\frac{1}{4}\right)^2 (0.19)^2 + \left(\frac{1}{4}\right)^2 (0.19)^2 + \left(\frac{1}{4}\right)^2 (0.19)^2$$

$$(d\Delta H)^2 = 4 x \left(\frac{1}{4}\right)^2 (0.19)^2$$

$$(d\Delta H)^2 = 0.009025$$

$$d\Delta H = \sqrt{0.009025}$$

De la précision pour la polygonation de précision

 $d\Delta H = \pm 0.10mm$

Nous sommes partis de l'hypothèse où les coordonnées de départ sont considérées comme étant parfaite et connue.



$$\begin{cases} X = f(D, G) \Rightarrow x_0 \pm D \sin G \\ Y = g(D, G) \Rightarrow y_0 \pm D \cos G \end{cases}$$

Nous allons faire une différentielle totale de X et Y

https://ijpsat.org/

$$X = f(D,G) = \frac{\delta f(G,D)}{\delta_G} d_G + \frac{\delta f(G,D)}{\delta_D} d_D$$
$$= \sin G \, \delta_D + D \cos G \, \delta_G$$

$$Y = g(D,G) = \frac{\delta f(G,D)}{\delta_G} d_G + \frac{\delta f(G,D)}{\delta_D} d_D$$
$$= \cos G \, \delta_D - D \sin G \, \delta_G$$

$$dx = f(D, G) \Rightarrow \sin G \, \delta_D + D \cos G \, \delta_G$$

$$dy = g(D, G) \Rightarrow \cos G \, \delta_D - D \sin G \, \delta_G$$

$$\begin{pmatrix} dx \\ dy \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin G & D \cos G \\ \cos G & -D \sin G \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_D \\ \delta_G \end{pmatrix}$$

En mode matricielle on a $M_{ij} = A \times Q_x \times AT$, Avec :

- Q_x : matrice des observations ou les variances;
- AT : la transposé de A

$$\begin{split} M_{ij} &= \begin{pmatrix} \sin G & D \cos G \\ \cos G & -D \sin G \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_D^2 & 0 \\ 0 & \delta_G^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sin G & \cos G \\ D \cos G & -D \sin G \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \sin G & x & \delta_D^2 & D \cos G & x & \delta_D^2 \\ \cos G & x & \delta_G^2 & -D \sin G & x & \delta_G^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sin G & \cos G \\ D \cos G & -D \sin G \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \sin G & x & \delta_D^2 + D^2 \cos G & x & \delta_G^2 & \cos G \sin G & x & \delta_D^2 - D^2 \sin G \cos G & x & \delta_G^2 \\ \cos G & \sin G & x & \delta_D^2 - D^2 & \sin G \cos G & x & \delta_G^2 & \sin G & x & \delta_D^2 + D^2 \cos G & x & \delta_G^2 \end{pmatrix} \end{split}$$

Retenons que l'erreur se transmet par additivité

$$\delta_x^2 = \left(\frac{\delta_F}{\delta_D}\right)^2 (d\delta_D)^2 + \left(\frac{\delta_F}{\delta_G}\right)^2 (d\delta_G)^2 = \sin G \ x \ \delta_D^2 + D^2 \cos G \ x \, \delta_G^2$$
$$\delta_y^2 = \left(\frac{\delta_g}{\delta_D}\right)^2 (d\delta_D)^2 + \left(\frac{\delta_g}{\delta_C}\right)^2 (d\delta_G)^2 = \sin G \ x \ \delta_D^2 + D^2 \cos G \ x \, \delta_G^2$$

Calcul de l'erreur sur la mesure d'angle

La précision angulaire de l'instrument choisie est de $\pm 1,5~dmg$, la méthode d'observation étant le double retournement :

- La moyenne des lectures angulaire étant : $L_n = \frac{L(n)_{CG} + [L(n)_{CD} \pm 200]}{2}$ L'erreur grevant cette moyenne sera : $\sigma_{Ln} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}} \Rightarrow \sigma_{Ln} = 1''$
- La mesure angulaire étant : $\hat{I}_n = L_{n+1} L_{n-1}$



L'erreur grevant la mesure angulaire sera : $\sigma_{\hat{l}_n} = \sigma_{Ln}\sqrt{2} \Rightarrow \sigma_{\hat{l}_n} = 1.5''$

Tout angle de la polygonale sera connu avec une précision de :

$$\sigma_{\hat{I}_n} = 1.5''$$

Calcul de l'erreur sur la mesure de distance horizontale

- La relation permettant d'obtenir la distance horizontale étant : $D_h = D_i x \sin V$
- Alors l'erreur sur cette distance horizontale sera :

$$(\sigma_{D_h})^2 = (\sin V)^2 (\sigma_{D_i})^2 + (D_i \cos V)^2 (\sigma_V)^2$$

Etant donné que : $-1 \le \sin V \le 1$ et $-1 \le \cos V \le 1$

La précision de distance : $\sigma_{D_i} = 1mm \pm 1ppm$, les portés étant inférieurs à 1 kilomètre $\Rightarrow \sigma_{D_i} = 1mm$

La précision angulaire :

$$\sigma_{a} = \pm 1.5'' = \pm 1.5 x 1.57x 10^{-6} rad = 2.355x 10^{-6} rad$$

$$\Rightarrow (\sigma_{D_{h}})^{2} = (\sigma_{D_{i}})^{2} + (25000)^{2} (\sigma_{V})^{2}$$

$$\Rightarrow (\sigma_{D_{h}})^{2} = (1)^{2} + (25x 10^{3}x 2.355x 10^{-6})^{2} = (1)^{2} + (0.058875)^{2}$$

$$\sigma_{D_{h}} = \pm 0.059 \approx \pm 1mm$$

De la transmission du gisement :

- Gisement d'origine Gn;
- Le sommet Sn;
- L'extrémité des sommet Sn+1 Selon le sens du cheminement.

Notons que La précision du gisement de départ est centimétrique ou mieux millimétrique. D'où, pour la généralisation de la transmission d'un gisement, nous aurons :

$$G_1^T = G_0^T + \hat{l}_1 \pm 200$$

$$G_2^T = G_1^T + \hat{l}_2 \pm 200 = G_0^T + \hat{l}_1 + \hat{l}_2 \pm 2 \times 200$$

$$G_3^T = G_2^T + \hat{l}_3 \pm 200 = G_0^T + \hat{l}_1 + \hat{l}_2 + \hat{l}_3 \pm 3 \times 200$$

$$G_n^T = G_{n-1}^T + \hat{l}_n \pm 200 = G_0^T + \hat{l}_1 + \hat{l}_2 + \hat{l}_3 + \dots + \hat{l}_n \pm n \times 200$$

$$G_n^T = G_0^T + \sum_{i=1}^{i=n} \hat{I}_i \pm n \times 200$$

Alors

$$(\delta_{Gn})^2 = (\delta_{G0})^2 + (\delta_{\ddot{l}1})^2 + (\delta_{\ddot{l}2})^2 + \dots + (\delta_{\ddot{l}n})^2$$

$$(\delta_{Gn})^2 = (\delta_{G0})^2 + \sum_{i=n}^{i=n} (\delta_{ij})^2$$

Or
$$\delta_{\bar{l}1} = \delta_{\bar{l}2} = \delta_{\bar{l}3} = \cdots = \delta_{\bar{l}n} = 5''$$

$$(\delta_{Gn})^2 = (\delta_{G0})^2 + n \, x (\delta_{\ddot{I}1})^2$$

$$\delta_{Gn} = \sqrt{(\delta_{G0})^2 + n \, x(\delta_{I1})^2} = \sqrt{(\delta_{G0})^2 + n \, x(1.5)^2}$$

https://ijpsat.org/

$$\delta_{Gn} = \pm \sqrt{(2)^2 + 6 x(1,5)^2}$$

$$\delta_{Gn} = \pm 3.5$$
"

Ainsi, nous pouvons déterminer la précision des coordonnées à déterminer.

$$\delta_{x}^{2} = \left(\frac{\delta_{F}}{\delta_{D}}\right)^{2} (d\delta_{D})^{2} + \left(\frac{\delta_{F}}{\delta_{G}}\right)^{2} (d\delta_{G})^{2} \Rightarrow \delta_{x}^{2} = \left(\frac{\delta_{F}}{\delta_{D}}\right)^{2} (1)^{2} + \left(\frac{\delta_{F}}{\delta_{G}}\right)^{2} (0.00595)^{2}$$

$$\delta_y^2 = \left(\frac{\delta_g}{\delta_D}\right)^2 (d\delta_D)^2 + \left(\frac{\delta_g}{\delta_G}\right)^2 (d\delta_G)^2 \Rightarrow \delta_y^2 = \left(\frac{\delta_g}{\delta_D}\right)^2 (1)^2 + \left(\frac{\delta_g}{\delta_G}\right)^2 (0.00595)^2$$

$$\delta_{x}^{2} = \left(\frac{\delta_{F}}{\delta_{D}}\right)^{2} (1)^{2} + \left(\frac{\delta_{F}}{\delta_{C}}\right)^{2} (0.00595)^{2} \Rightarrow \delta_{x} = \sqrt{1.000035}$$

$$\delta_y^2 = \left(\frac{\delta_g}{\delta_p}\right)^2 (1)^2 + \left(\frac{\delta_g}{\delta_c}\right)^2 (0.00595)^2 \Rightarrow \delta_y = \sqrt{1.000035}$$

$$\Rightarrow \delta_x = \pm 1mm$$

$$\Rightarrow \delta_{v} = \pm 1mm$$

De la précision pour l'intersection spatiale

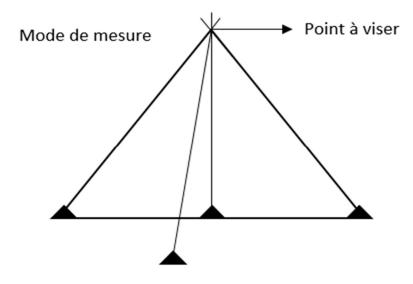


Figure 3: Mode de mesure

L'intersection spatiale s'opère à courte portée pour éviter l'erreur de réfraction et de courbure terrestre. C'est ainsi que la plus longue distance entre nos points avec l'ouvrage est de 100m.

Dans ce conditions, l'isotropie angulaire prônée dans le cas des stations totales moderne est de mise. H_Z et V, quasiment de même qualité.

nous allons utiliser un appareil dont l'erreur est de 1,5 dmg pour les angles et de 1 mm + 1ppm pour les distances.

Etant donné qu'à chaque portée il y a une incertitude à chaque pointé, par rapport à la plus grande portée le décalage (S) est égal



S = DxEmq en radian

Emq en radian =
$$\frac{0^{v}00'1,5''}{200^{v}} x \pi$$

 $Emq\ en\ radian = 2,355\ x\ 10^{-5}$

S1 sera calculé en fonction de la plus longue portée qui est de 100m

$$S_1 = 2,355 \times 10^{-5} \times 100 \Rightarrow S_1 = 0,002355m \text{ soit } 2,3mm$$

$$S_2 = 2,355 \times 10^{-5} \times 80 \Rightarrow S_2 = 0,001884 \text{ m soit } 1,88 \text{ mm} \approx 2 \text{ mm}$$

$$S_3 = 2,355 \times 10^{-5} \times 80 \Rightarrow S_3 = 0,001884 \text{ m soit } 1,88 \text{ mm } \approx 2 \text{ mm}$$

$$S_4 = 2,355 \times 10^{-5} \times 80 \Rightarrow S_4 = 0,001884 \text{ m soit } 1,88 \text{ mm} \approx 2 \text{ mm}$$

Ainsi la précision à priori sera calculé par la formule :

$$\sqrt{\frac{\sum (S_i)^2}{8-4}}$$

Avec 8 : le nombre excédentaire et 4 : le nombre strictement nécessaire.

$$\sqrt{\frac{(S_1 + S_2 + S_3 + S_4)^2}{8 - 4}} = \sqrt{\frac{(2,3 + 2 + 2 + 2)^2}{8 - 4}} \Rightarrow Pr\acute{e}cision = \sqrt{\frac{8,3}{4}} = \sqrt{2,075}$$

D'où la précision à priori pour les coordonnées à déterminer en intersection spatiale est de $\sqrt{2,075} = 1,44 \text{ mm}$

CONCLUSION

En menant cette étude nous avons voulu démontrer le bien-fondé d'une modélisation à priori des paramètres de précision pour le contrôle géodésique : cas des auscultations des ouvrages d'art par la méthode de micro géodésie.

Toutefois, nous avons opter pour:

- Le nivellement de grande précision ;
- La polygonation de précision ;
- L'intersection spatiale.

Les trois procédés cités ci – dessus nous ont permis de déterminer les indicateurs de précisions liés :

- Aux accroissements par rapport à L'axe des abscisses (après tout calcul inclus nous avons $\delta_x = \pm 1mm$)
- Aux accroissements par rapport à l'axe des ordonnées (après tout calcul inclus nous avons $\delta_y = \pm 1mm$);
- A l'affaissement ou la dénivellation de l'ouvrage (après tout calcul inclus nous avons $d\Delta H_1 = \pm 0$, 19mm).

Ainsi, si l'on veut pérenniser l'ouvrage, rentabiliser l'investissement consenti et aussi contribuer à la sécurité des personnes utilisant l'ouvrage cette démarche scientifique reste le moyen le plus sûr d'y arriver.



REFERENCES

SSN:2509-0119

- [1]. Jean Michel DOMINGUEZ; qu'est-ce que la géodésie, Ed 1ER P60
- [2]. Theo CATH; Etiologie et épistémologie d'Aristote, 1920, P1227
- [3]. SETRA; instruction technique pour la surveillance et entretien des ouvrages d'art, fascicule4 Topométrie, 2006, P90
- [4]. Michel BRABANT: maitriser la topographie, 2ème édition;
- [5]. Recommandation SIA 169
- [6]. WWW.prim.net
- [7]. http://www.cypres.org
- [8]. www.wikipédia.com
- [9]. www.toupie.org
- [10]. KSK YUMANI, initiation à la géodésie spatiale
- [11]. C.T Pius MONDENGE : cours d'auscultation des ouvrages d'art par méthodologie géodésique