

Méthode de l'amiral Mouchez (1821 – 1892)

■ Jean-Jacques DERWAELE

Sous ses différents aspects : cartographie, gravimétrie, photogrammétrie, topographie... la "géodésie" a toujours été une des disciplines des expéditions polaires.

Adrien de Gerlache (1866 – 1934) fait mention de la méthode de l'Amiral Mouchez ; cette ancienne méthode de cartographie côtière est très peu connue des navigateurs et inconnue des géodésiens.

Le but de cet article est de décrire cette méthode de « lever expédié ».

Note liminaire

Dès la fin du XIX^e siècle de nombreux explorateurs belges se rendent en Antarctique pour y effectuer des travaux scientifiques.

- Parti d'Anvers le 16 août 1897 le commandant Adrien de Gerlache explore la péninsule Antarctique et est le premier à y hiverner (1897-1898).

- En 1957, lors de l'Année Géophysique Internationale, Gaston de Gerlache (fils d'Adrien de Gerlache) construit la Base Roi Baudouin (70°26'S - 24°19'E) entre 1957 et 1968 six expéditions y ont hiverné.

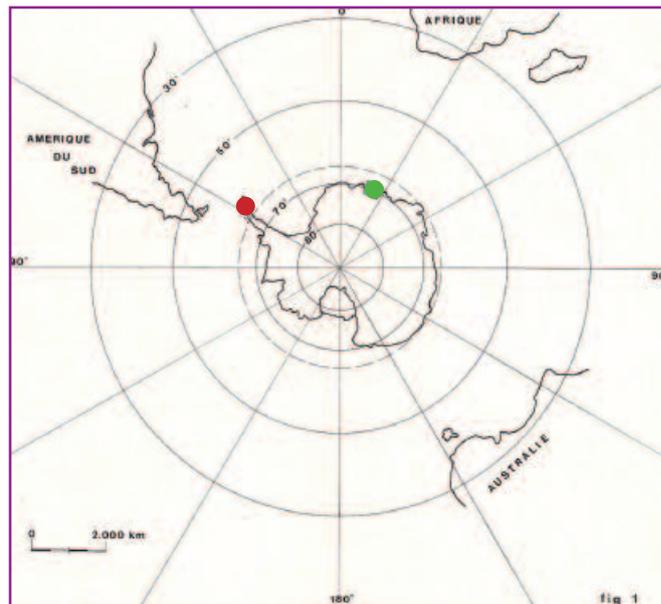
- Le 15 février 2009 la Station Princesse Elisabeth (71°57'S - 23°20'E) réalisée par Alain Hubert et Johan Berte est inaugurée. La station est une combinaison unique de technologies modernes et fonctionne entièrement à partir d'énergies renouvelables.

Sources d'informations

■ Publication d'A. de Gerlache¹

Le 30 janvier 1898, je décide que Danco et moi nous débarquerons pour tenter d'atteindre un sommet élevé et de faire un lever rapide par "la méthode de l'amiral Mouchez, c'est-à-dire que les angles verticaux mesurés de la station choisie, nous donneront, par une simple résolution de triangles rectangles, l'éloignement des points observés, tandis que les azimuts en fourniront les gisements." Amundsen, Artowski et Cook nous accompagneront.

Nous choisissons sur la côte Nord-Ouest une grande terre (île Brabant) présentant une crête élevée (monts Solvay). Vers quatre heures de l'après-midi, nous arrivons devant une petite anse², près du point qui nous a paru le plus propice au débarquement et où la côte n'est pas trop escarpée³.



● Expédition 1897 – 1899

● Base Roi Baudouin et Station Princesse Elisabeth

Le 2 février, nous parvenons à nous installer avec notre théodolite au sommet d'un nunatak s'élevant, abrupt, au bord de la baie. Notre station est à 315 mètres d'altitude ce qui n'est guère, en raison des distances horizontales à mesurer. Mais il nous a paru impossible d'en établir une qui fût sensiblement plus élevée. Le temps s'épaissit et il est impossible de rien relever⁴.

Le 3 février, il fait très clair pendant quelques heures et, du haut de notre nunatak, nous jouissons d'un grandiose et merveilleux panorama. Nous prenons des angles tant et plus. De 15 h à 16 h 30 Danco observe la déclinaison magnétique (20° 43' 13" N.E.). Puis nous mesurons encore azimuts et dépressions.

Bien que l'inclémence du temps ne nous ait pas permis de tirer de la méthode de l'amiral Mouchez tout le parti que nous en espérons, les relèvements qu'il nous a été donné de prendre, Danco et moi, s'ils n'ont pas autant d'importance que s'ils avaient été pris de plus haut, ils seront tout de même d'une certaine utilité pour l'établissement de la carte.

(1) *Quinze mois dans l'Antarctique* – Commandant de Gerlache – Hachette et Cie, Paris - G. Lebegue et Cie, Bruxelles 1902

(2) Baie de Buls 64°25' S – 62°15' W.

(3) Cap d'Ursel

(4) *Voyage de la Belgica en 1897 - 99* – Rapports Scientifiques de la Commission de la Belgica - Fragments du récit de voyage par Adrien de Gerlache de Gomery – Imprimerie J.-E. Buschmann – Anvers 1938

► ■ **Publication de G. Lecointe⁵**

Il fut alors décidé qu'un certain nombre d'entre nous tenterait l'ascension des monts Solvay et appliquerait *la méthode de l'amiral Mouchez*, dans le but d'opérer plus rapidement le lever et de découvrir, éventuellement, un passage vers le Sud. Rappelons en deux mots en quoi consiste cette méthode :

"On s'élève sur une montagne dont on détermine très exactement la hauteur au-dessus du niveau de la mer ; puis, à l'aide d'un théodolite, on mesure l'azimut et la dépression des points importants de la côte. Une simple résolution de triangle donne alors les éléments nécessaires à l'établissement de la carte."

Voici comment nous avons appliqué cette méthode. Le 30 janvier 1898, à 9 heures du matin, nous nous dirigeons vers la baie de Buls et à 4 heures du soir MM de Gerlache, Danco, Arctowski, Cook et Amundsen quittent le navire pour gagner les hauteurs. L'ascension se fait au cap d'Ursel.

M Arctowski possède une montre réglée exactement sur celles du bord et lit la température ainsi que la pression barométrique au moins une fois toutes les heures. A bord, les mêmes lectures sont faites d'heure en heure. A l'aide de ces données, M Arctowski calcula avec une approximation suffisante les diverses hauteurs auxquelles il avait fait ses lectures.

L'ascension des monts Solvay (10^e débarquement), ne donna pas les résultats que nous en attendions, d'abord parce que les coordonnées de la station ne purent pas être observées, ensuite parce que le temps fut constamment défavorable, enfin et surtout parce que le plus grand nombre des points relevés ne purent être identifiés par la suite. Tel point qui, vu d'en haut, semblait être un cap ou la pointe d'une île, n'était en réalité qu'une roche située au milieu d'une chaîne de montagne, mais plus apparente que les autres. La hauteur à laquelle on se trouvait était faible par rapport aux longueurs horizontales à calculer. Il en résultait que les dépressions étaient sensiblement égales pour des points assez distants cependant l'un l'autre.

(5) *Travaux Hydrographiques et Instructions Nautiques* - Georges Lecointe - Résultats du Voyage du S.Y. Belgica en 1897 - 1898 - 1899 - Imprimerie J.-E. Buschmann Anvers - 1905.



Figure 3. Baie de Buls



Figure 2. Ile Brabant - 10^e débarquement ascension des Monts Solvay (64° 41' S - 62° 32' W)

■ **Journal Roald Amundsen⁶**

Sunday, 30th January. This morning I received the good news that everything was to be got ready for a skiing trip. We are moored near a large island (Brabant Island) with lots of high mountain peaks. The commander plans to climb one of them. From the top we should be able to form a clear picture of our surroundings.

1st February. The commander decided to leave our camp where it was and from there set out to climb the two nearby peaks which were in the direction of the sea and approximately three hundred metres high. He would then make his observations from these peaks.

3rd February. The commander and Danco made their observations using the theodolite from on top of the aforementioned rocks.

4th February. The commander and Danco continued their observations while Artowski looked after the tent.

(6) *Roald Amundsen's Belgian Diary - The First Scientific Expedition to the Antarctic* - Hugo Decler [ed.] Hadewijch Publishing Company Antwerp / Baarn - 1998 - ISBN 90 5240 489 5



Cap d'Ursel - Photo J. Verlinden 2008

Description de la méthode par l'Amiral Mouchez⁷

Pour déterminer les détails topographiques de certaines parties inabordables de la côte, j'ai dû avoir recours à une méthode qui, *bien que non employée jusqu'ici, paraît la seule pouvant donner, dans des circonstances semblables, des résultats exacts et rapides.*

Les parties saillantes de cette côte sont quelquefois de gros massifs de montagnes terminés par des falaises à pic de plusieurs centaines de mètres de hauteur et de plusieurs lieues d'étendue. Du pied de ces falaises on ne voit rien que la pleine mer et une ligne droite de rochers s'étendant à perte de vue dans l'est et l'ouest.

Les procédés trigonométriques ordinaires sont donc mis alors complètement en défaut et la méthode des stations auxiliaires en mer est absolument insuffisante : *j'ai employé dans ces circonstances les distances zénithales des contours de la côte prise du haut des falaises.*

Quand du haut d'un cap, on fait parcourir les sinuosités de la côte environnante par l'axe d'une lunette de théodolite, comme le ferait la génératrice d'une surface conique ayant ces contours pour directrice, on est frappé des rapides changements de distance zénithale correspondant aux détails même les plus minutieux du rivage situés autour de la station. Ce fait qui tient évidemment à la perfection de l'instrument employé relativement à l'indécision de contours des objets que l'on observe, tels que groupes de rochers, pointes ou bancs de sable et récifs, etc., etc., donne un précieux élément de détermination, puisque la hauteur de la station est toujours connue soit par la hauteur des signaux géodésiques, soit par l'observation d'un point connu du littoral.

Dans les circonstances où nous nous trouvons, nous pouvions étendre cette méthode jusqu'à une distance de vingt à vingt-cinq fois la hauteur de la station, avec la certitude que l'erreur à craindre serait beaucoup plus faible que celle que comporte le tracé graphique des détails topographiques à l'échelle de construction employée, qui est encore quatre fois plus petite dans la carte publiée.

J'ai pu ainsi explorer, à l'aide de la lunette plongeante du théodolite beaucoup d'anfractuosités de falaises et de massifs de rochers inabordables, qu'il eût été à peu près impossible de déterminer autrement avec quelque précision sans une très grande perte de temps et de moyens tout autres que ceux dont je disposais.

Principe de la Méthode

Considérant les différentes descriptions succinctes il apparaît qu'il s'agit d'une méthode de levé expédié servant à *mesurer la côte depuis un point élevé.*

(7) *GÉODÉSIE - Levé des côtes de l'Algérie*; note de M. E. Mouchez Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, 1873 - 1^{er} Semestre (Volume 76, N°2) - pages 71-74

Le théodolite est mis en station sur un point connu en coordonnées (longitude - latitude).

La hauteur de la station est déterminée par nivellement barométrique.

La mesure de l'angle vertical permettra de calculer la distance entre la station et le point visé ; tandis que l'angle horizontal (cercle orienté par rapport au Nord magnétique), fournira l'orientation.

La distance **AB** = (Δh + hauteur du théodolite sur trépied) et l'angle α = (180° - angle zénithal mesuré) permettent de calculer la **distance BP**

$$BP = AB \cdot \text{tg } \alpha$$

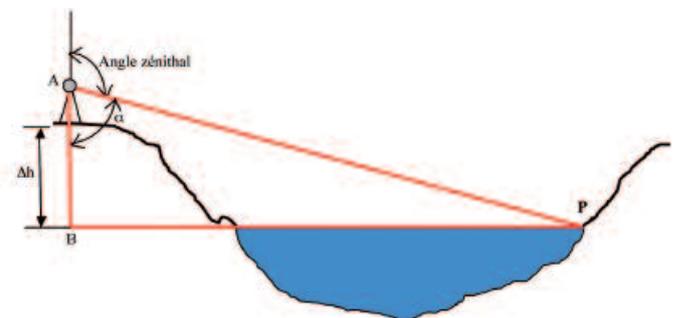


Figure 4. Détermination de la distance "Station - Point à mesurer".

Les coordonnées de la station B, la distance BP et l'orientation de cette droite permettent de calculer les **coordonnées de P**

$$X_P = X_B + B_P \sin \Psi$$

$$Y_P = Y_B + B_P \cos \Psi$$

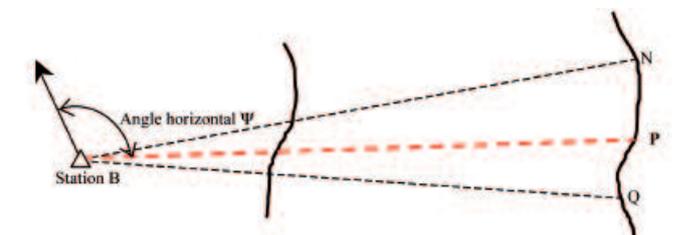


Figure 5. Détermination des coordonnées.

Instruments⁸ utilisés et critère d'erreurs

■ Mesure d'angles

Dans un de ses "*Rapports Scientifiques*" G. Leconte mentionne un "*Théodolite Brunner*", dans un autre il parle d'un "*Théodolite magnétique de Brunner*" mais ceci sans autres descriptions.

"*Brunner : Instruments de précisions*" construisait plusieurs types de théodolites, tout porte à croire que l'expédition disposait du théodolite magnétique avec graduation de 10 en 10' donnant 10'' à l'aide de deux verniers.

Compte tenu de l'instrument et des conditions de mesure l'erreur standard sur les mesures d'angles est estimée à 30''.

(8) *Travaux Hydrographiques et Instructions Nautiques* - Georges Leconte - Résultats du Voyage du S.Y. Belgica en 1897 - 1898 - 1899 - Imprimerie J.-E. Buschmann Anvers - 1905.

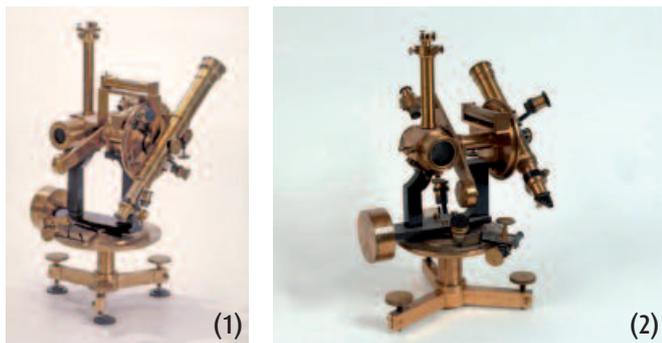


Figure 6. Théodolite magnétique BRUNNER – Patrimoine de l’Observatoire de Lyon (1) Patrimoine de l’Observatoire de la Côte d’Azur (2)



Figure 7. Débarquement Monts Solvay – Mise en station du théodolite Brunner (Expédition A. de Gerlache)

► ■ **Mesure d’altitudes**

La hauteur de la station est déterminée par nivellement barométrique. Selon l’inventaire l’expédition disposait des baromètres suivants : un baromètre Fortin, un baromètre marin et plusieurs baromètres anéroïdes. Il n’est pas mentionné quels baromètres étaient à bord du navire (station “mère”) et le ou lesquels avaient été employés sur le terrain.

Compte tenu de l’instrumentation et des conditions de mesure l’erreur standard du nivellement barométrique est estimée à 1,5 m.

■ **Précision du pointé**

Les points levés sont formés par l’intersection d’un plan horizontal (surface de l’eau ou surface de la glace de mer) et d’un plan vertical (falaise rocheuse ou glaciaire, *Ice-shelf*) ce qui n’est pas très évident.

La détermination du “plan horizontal” dépend donc de deux éléments :

- la marée¹⁰ estimée à 1-2 m soit le long des côtes Antarctique ou le long de l’Ice-shelf ; lors de marées d’équinoxes elle peut atteindre 2 à 4 m
- l’épaisseur de la glace de mer : celle-ci peut varier de plusieurs mètres et ce sur des distances relativement courtes.

■ **Orientation**

Les gisements sont calculés à partir des azimuts mesurés, ceux-ci sont des “azimuts magnétiques” la précision dépend donc de trois éléments :

- la précision de la boussole employée
- la précision avec laquelle la déclinaison magnétique est connue à cet endroit
- la précision de l’angle horizontal mesuré avec le théodolite

D’après les rapports scientifiques il apparaît que des mesures géomagnétiques ont été exécutées avec beaucoup de soin, ceci permet de déterminer la déclinaison magnétique.

Compte tenu des conditions de mesure l’erreur standard sur l’orientation avec “théodolite boussole” est estimée à 3’.

Précision de la méthode

■ **La précision des coordonnées des points mesurés par cette méthode dépendra de la précision :**

- des coordonnées et de la hauteur de la station
- de la hauteur de la station
- de l’orientation magnétique
- de la mesure de l’angle azimutal
- de la mesure de l’angle horizontal
- de la distance entre la station et le point mesuré
- de la qualité du pointé sur le point à déterminer.

■ **Précision de la mesure de distance (Figure 4)**

Erreur standard

Avec une hauteur AB (h) et une distance BP (d) l’erreur standard σ_d sur la distance est obtenue par la formule :

$$\sigma_d^2 = \operatorname{tg}^2 \alpha \sigma_h^2 + h^2 \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} \right)^2 \sigma_\alpha^2$$

l’angle vertical α => erreur standard $\sigma_\alpha = 30''$
 h hauteur de la station => erreur standard $\sigma_h = 1,50$ m

Exemple : $\alpha = 60^\circ$ et $h = 300$ m l’erreur standard $\sigma_d = 2.60$ m
 $\alpha = 80^\circ$ et $h = 1200$ m l’erreur standard $\sigma_d = 10.29$ m

La distance entre la station et le point levé est calculée avec l’angle vertical (α) et la hauteur (h) de la station

$$d = h \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Exemple : $\alpha = 60^\circ 00'$ et $h = 300$ m la distance $d = 519.62$ m
 $\alpha = 80^\circ 00'$ et $h = 1200$ m la distance $d = 6805.54$ m

■ **Précision des coordonnées (Figure 5)**

Le but final d’un levé de points par la méthode de l’Amiral Mouchez est d’établir la carte d’une région non cartographiée ou de compléter une carte existante.

La qualité de la position de “l’entièreté du levé” dépend donc de la précision des coordonnées géographiques (longitude –

(10) *A new tide model for the Antarctic ice shelves and seas* – L. Padman, H., A. Fricker, R. Coleman, S. Howard, L. Erofeeva – Annals of Glaciology 34 2002 - International Glaciological Society



latitude) de la station et de son orientation par rapport au Nord géographique.

L'expédition disposait d'un théodolite Brunner (Paris), de deux chronomètres Carl Ranch (Copenhague) et d'un chronomètre Charles Sheherd (Londres)¹¹.

Coordonnées de la station

Détermination astronomique de position (observation stellaire ou observation solaire).

- La précision de la longitude est liée à la détermination de l'heure, à une latitude de 64° S une seconde de temps représente une distance de 32,35 m.
- La précision de la latitude est liée à la détermination de l'angle vertical vers l'astre, une seconde d'arc représente une distance de 30,90 m.

Orientation

Considérant les instruments disponibles il y a deux possibilités d'orientation :

- Détermination de l'azimut magnétique avec le théodolite magnétique Brunner
- Orientation astronomique sur le soleil avec le théodolite Brunner et chronomètre

Des deux méthodes l'orientation astronomique est la plus précise mais elle est beaucoup plus fastidieuse.

■ Remarques

- Adrien de Gerlache et Georges Lecoinge relatent qu'il ne leur a pas été possible de tirer tout le parti espéré de la méthode. Dans *Voyage de la Belgica* en 1897 – 99 Adrien de Gerlache écrit : "Notre station est à 315 mètres d'altitude ce qui n'est guère, en raison des distances horizontales à mesurer".

Dans *Travaux Hydrographiques et Instructions Nautiques* - Georges Lecoinge note :

La méthode ne donna pas les résultats que nous en attendions parce que :

- les coordonnées de la station ne purent pas être observées,
- le temps fut constamment défavorable,
- le plus grand nombre des points relevés ne purent être identifiés par la suite.

- Les distances mesurées doivent être corrigées pour la courbure terrestre (voir addendum ir. R. D'Hollander).

- Le but des levés étant d'établir une carte ou de compléter une carte existante les données devront être reportées au plan de projection cartographique.

Mouchez et la précision

Il semblerait que l'Amiral Mouchez - officier de marine ayant développé de grandes compétences scientifiques et des idées personnelles sur la diffusion des méthodes de l'astronomie à destination des marins - s'inquiète du fait que les méthodes employées par la Marine soient trop compliquées.

A ce sujet Guy Boistel écrit dans : *"De quelle précision a-t-on réellement besoin en mer"*¹².

Ernest, Amédée, Barthélemy Mouchez

Né à Madrid le 24 août 1821. Officier de marine et astronome.

Depuis sa sortie de l'École Navale en 1839 jusqu'en 1874, il passa sa vie dans des expéditions sur mer, et acquit la réputation d'un excellent officier de marine, d'un géographe distingué et d'un habile astronome.

Dans les nombreuses campagnes qu'il fit dans les mers il leva un grand nombre de plans de fleuves et de baies, et détermina les longitudes et les latitudes des principales localités qu'il visitait.

En 1873, il fut nommé membre du Bureau des Longitudes.

Les services rendus et ses travaux d'hydrographie, appuyés sur des observations astronomiques, lui valurent en 1875 un fauteuil à l'Académie des Sciences.

En 1875, le Bureau des Longitudes confia à Mouchez l'organisation et la direction de l'Observatoire astronomique de Montsouris.

En 1878, Mouchez fut nommé contre-amiral et directeur de l'Observatoire de Paris.

Mis à la retraite en 1880, l'amiral Mouchez se consacra tout entier à ses études scientifiques.

L'amiral Mouchez mourut le 25 juin 1892 dans sa propriété de Wissous, quelques heures après avoir présidé le Conseil de l'Observatoire.

- *"Mais les méthodes qui leur (officiers de la Marine Française) sont proposées, élaborées le plus souvent par des géomètres ou des auteurs davantage versés dans les mathématiques que dans la pratique maritime, ne sont pas toujours à leur portée"*

- *"Mouchez développe quelques idées personnelles concernant l'adaptation des techniques de l'observation aux besoins scientifiques de la Marine..."*

- *"Pendant ce temps, les méthodes mathématiques continuent à effrayer les capitaines marchands. En 1880 paraît à Toulon un ouvrage écrit par un marin du commerce et qui s'adresse aux capitaines au long cours. L'ouvrage s'ouvre sur une lettre de Mouchez, dans cette très intéressante lettre il reprend ses critiques à l'égard des traités de navigation trop mathématiques"*

Conclusion

Considérant les instruments employés lors des différentes étapes de cette méthode il est évident qu'il s'agit donc d'une méthode de lever rapide (lever expédié) et simple mais peu précise.

A remarquer que la mesure de hauteur par nivellement barométrique est l'élément le moins précis, il est déterminant pour la précision du résultat des points mesurés.

(11) *Voyage de la Belgica en 1897 – 1898 – 1899 – Rapports Scientifiques de la Commission de la Belgica Astronomie Etude des Chronomètres* - par G. Lecoinge – Imprimerie J.-E. Buschmann – Anvers 1901.

(12) *De quelle précision a-t-on réellement besoin en mer* – Guy Boistel - Université de Nantes Histoire & Mesure – XXI 2 | 2006 - *Mesurer le Ciel et la Terre Mesurer en mer.*

▶ En ce qui concerne l'entièreté du lever c'est des coordonnées géographiques de la station que tout dépend. ●

Remerciements

Pour leurs remarques judicieuses les professeurs R. D'Hollander ingénieur général honoraire IGN France, Dr H. Declair Université de Bruxelles VUB, Ir G. Kips KAHO Sint Lieven Gent, J. Mosselmans géomètre-expert, le Dr J. Verlinden biographe d'Adrien de Gerlache.

Pour les précieuses informations : le Service de questions-réponses de la Bibliothèque de l'Observatoire de Paris et Madame Chr. Méniel du Service de documentation du Musée portuaire de Dunkerque.

Annexe 1

Influence des erreurs instrumentales sur les résultats des mesures.

Erreur standard σ_d sur la distance d

Calculée pour différentes hauteurs (h) de station et différents angles verticaux (α)

Angle α	Hauteur de la station		
	300 m	600 m	1 200 m
80°	8,63	8,99	10,29
70°	4,14	4,19	4,38
60°	2,60	2,62	2,69

Détermination de la distance d en fonction de la hauteur h de la station

Calculée pour différentes hauteurs (h) de station et différents angles verticaux (α)

Hauteur h de la station	Angle vertical α					
	60°00	60°30'	70°00	70°30'	80°00'	80°30'
300 m	519,62	530,25	824,24	847,17	1 701,38	1 792,73
600 m	1 039,23	1 060,50	1 648,49	1 694,35	3 402,77	3 585,46
1200 m	2 078,46	2 120,99	3 296,97	3 388,70	6 805,54	7 170,92

Effet d'une erreur d'orientation de 3' pour différentes distances

Distance entre la station et le point mesuré	Déviations
100.- m	0,09 m
500.- m	0,44 m
1 000.- m	0,87 m
5 000.- m	4,36 m

Addendum

L'article de J.-J. Derwael traite d'un problème de topographie expédiée et la méthode de l'amiral Mouchez, qui ne tient pas compte de la correction du niveau apparent, donne des valeurs de distances peu erronées lorsque les distances à mesurer sont courtes. Il n'en est pas de même lorsque les distances à mesurer sont longues.

Considérons l'exemple cité par l'auteur où $\alpha = 80^\circ$ et $h = 1\,200$ m

on trouve comme indique l'auteur :

$$BP = h \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

$$\text{soit } BP = 6\,805,54 \text{ m.}$$

On sait que la correction de niveau apparent est donnée par :

$$NA^m = D^2/15, \text{ D étant alors exprimé en km, soit ici}$$

$$NA^m = 6,8^2/15 = 3,08 \text{ m.}$$

Assimilons cette correction à la différentielle dh de la valeur h.

En différenciant la formule (1) et en supposant α constant, on a :

$$dBP = dh \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$\text{soit } dBP = NA^m \cdot \operatorname{tg} \alpha = 3,08 \cdot 5,67 = 17,47 \text{ m.}$$

Cette erreur sur la distance obtenue n'est pas négligeable, même pour un lever expédié.

Raymond D'Hollander

Contact

Jean-Jacques DERWAELE

Géomètre - Géodésien des Expéditions Antarctiques : EANB 1965, EABN 1966-67, EABSA 1967-68
 jj.derwael@skynet.be

DEMANDE D'EMPLOI

Jeune diplômé technicien/opérateur géomètre, formé au Lycée Jean-Pierre Timbaud de Brétigny-sur-Orge, 20 ans, connaissance des logiciels AutoCAD, COVADIS, Excel, Word, Pratique des matériels LEICA et TRIMBLE, Permis B avec véhicule cherche un emploi dans les domaines topographique et/ou foncier.

Faire offre à la revue à l'adresse info@aftopo.org qui transmettra.