

Comment faire un traitement Géodésique des mesures GPS

André Fontaine

Lettre adressée à C. Million suite à ses articles : "Les états d'âmes de M. Lambda" XYZ n°81 et "Les avatars du référentiel de géodésie" XYZ n°84. Epilogue.

Cher M Million

Je puis m'adresser à vous avec cette en-tête puisque dans votre dernière lettre vous avez «enlevé le très haut», en laissant tomber votre fausse barbe de Monsieur Lambda. Dans cette lettre, j'ai aussi appris grâce à vos patientes recherches que nous n'étions pas les seuls à avoir compris certains désagréments apportés par les coordonnées géométriques ; merci et donc continuons le combat. Je voudrais d'abord souligner un point essentiel sur lequel on a, pour ainsi dire, trompé les utilisateurs : il est très facile de faire de la géodésie avec le GPS ; ensuite, je répondrai à votre question sur les assemblées qui ont pris les décisions.

Traitement géodésique des mesures GPS

Ce problème ne présente pas la moindre difficulté, car ce qui fonde la géodésie ce n'est pas la nature des mesures de terrain qui de tout temps ont été géométriques (quoi de plus géométrique qu'une mesure de distance ou d'angle), mais la méthode de calcul particulière mise au point par les savants du 18^e siècle qui ont jugé normal de lui donner un nom nouveau « géodésie », puisque ce n'était plus de la géométrie.

Chacun le sait : la géodésie consiste à reporter sur un ellipsoïde les mesures de terrain ramenées au géoïde ; les angles mesurés au théodolite autour de la verticale vraie sont reportés sans correction en angles autour de la verticale géodésique, les distances mesurées au sol ou dans l'atmosphère sont, avant d'être reportées, corrigées et ramenées à ce qu'elles seraient si elles avaient été mesurées sur le géoïde. Pour les mesures GPS, on fait de même : on calcule, à partir d'elles, les valeurs de grandeurs sur le géoïde.

Je m'en excuse, je vais donner les équations qui résolvent le problème pour bien montrer leur simplicité mathématique. Elles n'ont rien de très original, on les trouve dans tous les traités de géodésie sous l'appellation de formules de la géodésie tridimensionnelle.

Soit un point de départ P de longitude et latitude géodésiques (M_0, L_0) et soit la mesure en « GPS relatif » des écarts de coordonnées ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) avec le point suivant Q, on va calculer les coordonnées géodésiques de ce dernier.

Sachant que le produit scalaire de deux vecteurs et le module de leur produit vectoriel sont égaux au produit de leurs modules multiplié pour le premier par le cosinus de leur angle et pour le deuxième par le sinus, les formules sont particulièrement simples sous forme vectorielle. Dans les paragraphes suivants, on donnera aussi les expressions développées ; les vecteurs seront en italique minuscule et les scalaires en standard majuscule ou minuscule.

On définit les vecteurs :

$$q (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z),$$

$$k (0, 0, 1) \text{ porté par l'axe du monde}$$

$$v (v_1, v_2, v_3) \text{ porté par la verticale géodésique}$$

$$v_1 = \cos M_0 \cos L_0$$

$$v_2 = \sin M_0 \cos L_0$$

$$v_3 = \sin L_0$$

$$\text{On a naturellement } |k| = 1 \quad \text{et} \quad |v| = 1$$

On calcule dans les coordonnées de vecteurs du plan horizontal

• $e (e_1, e_2, e_3)$ suivant la direction de l'Est

$$e = k \wedge v$$

$$e_1 = -v_2 = -\sin M_0 \cos L_0$$

$$e_2 = v_1 = \cos M_0 \cos L_0$$

$$e_3 = 0$$

• $r (r_1, r_2, r_3)$ perpendiculaire à la direction de Q

$$r = q \wedge v$$

$$r_1 = v_3 \Delta Y - v_2 \Delta Z$$

$$r_2 = v_1 \Delta Z - v_3 \Delta X$$

$$r_3 = v_2 \Delta X - v_1 \Delta Y$$

On voit facilement que

$$D = |q|$$

$$\text{tg } A = -|e \wedge r| / (e \cdot r)$$

$$\text{tg } S = q \cdot v / |q \wedge v|$$

$$D^2 = \Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2$$

$$\text{tg } A = -r_3 / (v_1 r_2 - v_2 r_1)$$

$$\text{tg } S = (v_1 \Delta X + v_2 \Delta Y + v_3 \Delta Z) / (r_1^2 + r_2^2 + r_3^2)^{1/2}$$

D	distance rectiligne des deux points
A	azimut géodésique du point suivant
S	site du point suivant

On est donc revenu aux trois mesures données par un théodolite avec géodimètre incorporé ; le géomètre n'a plus qu'à appliquer les corrections dont il est coutumier. On remarque qu'on obtient directement l'azimut géodésique du point suivant au lieu de l'angle avec une direction de référence, il n'y a plus la fameuse inconnue G_0 d'orientation du tour d'horizon. Pour la distance, il s'agit de la distance rectiligne et non de la longueur de l'arc suivi par les ondes électromagnétiques, la correction consiste à passer de la corde à l'arc de cercle, puis, à partir des alti-

tudes, à calculer comme d'habitude la longueur à l'horizontale et enfin au niveau zéro.

Ce processus est très bien adapté au problème que se pose, par exemple, le port autonome de Dunkerque, car, en même temps qu'il donne les coordonnées géodésiques du bateau sondeur, il n'y a plus de difficulté pour intégrer les travaux antérieurs ; en effet, même si ces derniers sont de précision inférieure, ils sont de même nature et le passage d'un réseau géodésique à un autre est une opération justifiée et facile. Comme vous le remarquez dans votre lettre, les utilisateurs devront dans la plupart de leurs chantiers revenir à la géodésie.

Le pouvoir des mots

Vous vous posez la question de l'attitude des représentants des géomètres-topographes au moment des décisions. A mon avis, ils sont excusables de ne pas avoir vu le changement de nature du référentiel, car les représentants de l'État ont été tout aussi aveugles, alors qu'ils auraient dû être les plus compétents en cette matière. Après coup, je crois que la question intéressante est surtout de comprendre pourquoi une vérité scientifique aussi simple (en plus révélée par l'emploi de la hauteur du géoïde au dessus de l'ellipsoïde, grandeur inutile dans le calcul des coordonnées géodésiques) a été niée par les spécialistes.

J'y voit surtout l'effet des habitudes et du vocabulaire. Pendant plus de deux siècles, le calcul des coordonnées à la surface de la Terre a été décomposé en deux parties : l'élaboration de réseaux géodésiques de référence et l'interpolation au sein de ces réseaux par des méthodes strictement géométriques. Les réseaux géodésiques devaient être les plus précis possibles et d'une densité telle que l'interpolation puisse s'effectuer localement en supposant le géoïde comme plan. Il en est résulté que ceux qui avaient la charge des réseaux ont pris le nom de géodésiens tandis que les autres se sont appelés des géomètres. Vocabulaire parfaitement justifié, les uns faisant de la géodésie et les autres de la géométrie.

Mais peu à peu les premiers se sont considérés comme des savants à la recherche d'une précision de plus en plus grande pour laquelle l'État mettait à leur disposition les moyens appropriés. La précision est devenue leur marque distinctive et en même temps celle de la géodésie. Aussi quand sont apparus des moyens nouveaux très précis, ils n'ont jamais douté qu'ils continuaient à être des géodésiens tandis que ceux qui employaient les mêmes moyens avec

moins de précautions, restaient des géomètres. On le voit très bien dans l'article « L'impact en géodésie des systèmes de radionavigation par satellites GPS et GLONASS » (XYZ n°84), où Pascal Willis distingue les applications précises, qualifiées de géodésiques et dévolues aux géodésiens, des applications standards laissées aux utilisateurs.

Dans ces conditions, affirmer que la méthode employée pour le calcul du réseau de base est de la simple géométrie est un crime de lèse-majesté pour des géodésiens qui se voient dépossédés de l'auréole de savants portés par leurs prédécesseurs. Un réflexe psychologique profondément humain et une absence de réflexion sur la méthode géodésique, qu'ils pratiquaient depuis toujours, comme Monsieur Jourdain la prose, sont, à mon avis, l'explication de leur aveuglement. Sans compter que ceux qui ont tenté de leur ouvrir les yeux avaient un âge tel qu'on pouvait facilement les considérer comme des conservateurs rétrogrades nostalgiques d'une jeunesse révolue ou, plus brutalement dit, comme des «vieux cons», chacun préférant ne pas entendre le message «d'un qui balance entre deux âges : l'âge ne fait rien à l'affaire».

Comme on ne peut pas parler de deux entités différentes avec un seul mot, il me semble que la première urgence est de se mettre d'accord sur un vocabulaire qui recouvre correctement les concepts. C'est l'objet de mes résolutions à la Section de Géodésie de l'UNFGG. Pour les coordonnées du réseau de base actuel, je propose de les qualifier de «géométriques» mais sans être fermé à tout autre adjectif. Le plus difficile est en fait de préserver la susceptibilité des géodésiens et de trouver un nouveau mot qui les distingue des géomètres tout en disant qu'ils font de la géométrie. J'ai pensé à «géométristes», puisqu'ils sont pour ainsi dire attachés à la pratique d'une géométrie ultra-précise. Toute autre proposition de mots plus parlants serait la bienvenue ; il faut un adjectif pour les coordonnées et un nom qui heurte le moins possible les géodésiens.

Il y a aussi la solution que je propose depuis maintes années : que les géodésiens continuent à faire de la géodésie et calculent les coordonnées géodésiques du nouveau réseau de base à partir des mesures GPS, en plus de leurs coordonnées géométriques. Je pense, en effet, que ces deux types de coordonnées sont indispensables pour couvrir toutes les applications modernes de l'information géographique.

Je vous prie de croire, mon cher Million, à toute mon amicale reconnaissance pour votre engagement sur le chemin d'une vérité scientifique qui, on ne sait trop pourquoi, est parsemé d'épines. ●

Les colonnes de cette revue sont à la disposition de tous, adhérent ou non, pour toutes publications d'articles, de communications, d'annonces, d'informations en rapport avec la profession et après accord du comité de rédaction. N'hésitez pas, ces pages sont à la topographie.

REPertoire DES ANNONCEURS - N° 86

TRIMBLE/SPECTRA	1 ^{er} couv.	ENSG	20	NAV SAT	58
ORTECH	2 ^e couv.	GEOID	34	NIKON	2
GÉO MEDIA	3 ^e couv.	GEOIMAGE	63	MICAD	31
TOPO CENTER	4 ^e couv.	GEO MEDITERRANEE	48	PENTAX	21
AERIAL	42	HEWLETT PACKARD	encart	REIS STOLZEL	36
AEROSCAN	57	HITACHI	43	SOPPEC	6
ECOLE CHEZ SOI	52	LEICA	8	TPTECH	4