

LES RÉFÉRENTIELS DE TOPOGRAPHIE ET DE GÉODÉSIE

Par Claude Million

INTRODUCTION.

Pendant plus d'un siècle Topographie et Géodésie ont avancé de concert sans aucun problème de compatibilité : La géodésie fournissait un cadre, et la topographie remplissait ce cadre.

En effet, toutes les mesures de la géodésie, notamment les bases de la triangulation, seules mesures de longueurs mesurées à grands frais et à grands efforts, étaient rapportées "au niveau moyen de la mer", autre moyen de désigner le géoïde, même si nous savons aujourd'hui que ces deux termes peuvent désigner deux choses un peu différentes. Par conséquent, toutes les longueurs des cotés des triangles déduites par le calcul étaient rapportées à ce même niveau.

LE PASSÉ.

La géodésie cheminait ainsi sur une surface inconnue, le géoïde, en l'assimilant à un ellipsoïde, sur lequel étaient faits les calculs des positions des points de base en Latitude et Longitude à partir d'un point fondamental où on considérait que le géoïde et l'ellipsoïde, ainsi que leurs normales, étaient confondus.

Parfois on réorientait le réseau, d'autres on faisait un point astronomique et on comparait les résultats, les différences étaient attribuées à des déviations de la verticale, terme impropre puisque la verticale est une chose physique, et que c'était la normale à l'ellipsoïde de référence en ce point qui ne correspondait pas exactement avec la verticale du lieu.

Pour repasser la main au topographe, le géodésien transformait les coordonnées géographiques Latitude et Longitude en coordonnées planes x et y par le biais d'une représentation plane appelée projection. A ce moment seulement le géodésien ajoutait l'altitude, et le topographe pouvait se croire dans un système tridimensionnel x, y, z . En fait, il agissait comme s'il se trouvait dans un système tridimensionnel, alors qu'il était réellement dans un système bidimensionnel pour les coordonnées horizontales, à laquelle était ajoutée une mesure de travail, qui par artifice, ressemblait à une mesure de longueur.

De son côté, les longueurs mesurées par le topographe étaient réduites au niveau moyen des mers et éventuellement à nouveau altérées pour entrer dans la projection, comme l'avait fait, avant lui, le géodésien si bien que leurs mesures étaient totalement compatibles entre elles. Les altérations apportées aux mesures de longueur n'étaient pas supportées comme des injustices tant que leur précision ne leur était pas supérieure.

LE PRÉSENT.

Les premières difficultés apparurent lorsque les mesures de longueur des topographes atteignirent des précisions qui étaient très supérieures aux corrections à leur apporter pour les faire entrer dans le cadre du réseau géodésique, d'autant que les clients des topographes n'étaient intéressés que par les longueurs réellement mesurées sur place. Les rattachements aux réseaux généraux furent ressentis comme des injustices. On en vint très vite à l'usage de réseaux locaux, éventuellement translétés, pour faire "comme si" le réseau était intégré, mais sans altération des longueurs.

Sans remonter aux débuts de l'ère spatiale, on peut constater que les choses ont bien changé. Ce qui est grave c'est que le topographe ne s'en rend pas toujours compte et qu'il continue à agir comme par le passé. Ceci n'est pas grave tant qu'on s'en tient aux mesures traditionnelles faites au théodolite et aux E D M appuyées sur des points des anciens réseaux tels que la N T F.

Il n'en est plus de même depuis que le topographe utilise lui-même des récepteurs G P S ou qu'il se raccorde à un réseau géodésique déterminé par G P S et qu'il emploie des mesures traditionnelles : théodolite et mesures électroniques des distances, car le mariage des deux n'est pas simple, loin de là.

CE QUI SE FAIT.

Le référentiel propre de G P S est un système tri-rectangulaire géocentrique et rien d'autre, les résultats sont des différences de coordonnées $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ du vecteur reliant les deux points stationnés dans ce même système. Comme, généralement, les coordonnées d'un des deux points sont connues, on connaît celles du point inconnu.

Seulement cela n'a rien à voir avec ce que veut le client du topographe qui souhaite avoir des coordonnées de l'ancienne manière. On ne peut, comme par le passé, rien rapporter au géoïde ; on ne peut, notamment, pas projeter chaque point sur le géoïde, il faudrait connaître pour cela la trajectoire exacte de la verticale, à l'extrême rigueur; admettons que nous la connaissions en surface, nous ne la connaissons pas entre le point et sa projection sur le géoïde ! Donc, exit le géoïde ! On projette directement sur l'ellipsoïde de référence, orthogonalement à cet ellipsoïde. Exit la courbure de la verticale due au non parallélisme, ou à la non équidistance des surfaces équipotentielles on projette "tout droit".

Ce n'est pas par oubli ou omission, mais parce que cela correspond à une définition des coordonnées géographiques : la latitude et la longitude. "Les coordonnées géographiques sont alors définies naturellement en projetant un point P de l'espace sur l'ellipsoïde"[3]

Ce qui correspond rien moins qu'à une nouvelle définition de la latitude et de la longitude dans la mesure où on a changé d'ellipsoïde de référence on ne projette pas de la même manière.

L'ellipsoïde de référence n'est plus l'ancien ellipsoïde national, assez proche en définitive du géoïde (5-6 mètres), mais dont la position était assez mal connue par rapport au référentiel de base géocentrique, mais l'ellipsoïde international qui se trouve très éloigné du géoïde : 45 m en moyenne au-dessus, pour l'Algérie, et 50 mètres en moyenne au dessus (47,50_52,50), pour la France.

La projection sur un ellipsoïde différent donne, évidemment, des latitudes et des longitudes différentes.

Ceci introduit, aussi, une erreur d'échelle qui a au moins le mérite d'être facile à calculer: $50/6.371.000$ ou $1/120.000$ ème ce qui est énorme par rapport à la précision des mesures des longueurs.

Donc, ce que l'on fait actuellement n'a plus rien à voir avec les réductions des mesures du passé.

Ce n'est pas tout, le rabattement en cause permet de déterminer des coordonnées qui sont latitude, longitude, et hauteur au-dessus de l'ellipsoïde, ce système n'est que le "clone" du système tri-rectangulaire géocentrique, c'est encore un système tri-dimensionnel. On passe d'ailleurs de l'un à l'autre sans perte de précision, il existe plus de trente algorithmes recensés pour le faire [1].

Mais à ce stade, on retire une composante du vecteur, la hauteur au-dessus de l'ellipsoïde, et on déclare qu'on a des coordonnées bi-dimensionnelles du point sur l'ellipsoïde, ce qui n'est pas licite.

Etrange manière de faire, d'autant qu'on n'est pas gênés pour passer des coordonnées bi-dimensionnelles aux coordonnées tridimensionnelles dans le sens inverse..

Sans aller plus loin, on remarquera que ces coordonnées latitudes et longitudes viennent du "dessus" alors que par le passé elles étaient le résultat d'un cheminement "horizontal" sur l'ellipsoïde ou le géoïde presque confondus. Ce sont ces coordonnées : latitude et longitude qui sont ensuite entrées dans le système national de projection.

On ne parlera pas du système de projection : celui retenu pour la France est aberrant compte tenu de la forme du territoire national, il est simplement bêtement démagogique.

OBJECTIONS.

On pourra objecter qu'une correction d'échelle est facile à effectuer au moment de la projection, cela est vrai si on admet d'avoir une zone de correction inverse à celle qui est due à l'écartement entre le géoïde et l'ellipsoïde de référence, dans la zone, qui, dans les cas courants, ne supportait aucune altération des longueurs, c'est-à-dire les lignes ou les points **automécoïques**, mais le fait-on? On peut en douter.

On peut, aussi, objecter aussi que la projection des points orthogonalement à l'ellipsoïde est de loin la plus simple, et que sur les différences de coordonnées de points pas trop éloignés on ne verra rien par rapport à des projections tenant compte de raffinements tels que la courbure de la verticale (Correction de Pizzeti[2] due au non-parallélisme de surfaces équipotentielles).

Cela est vrai, sauf dans le cas de dénivelées importantes.

Le même raisonnement vaut pour les déviations de la verticale, dans les zones où celles-ci varient peu les différences de coordonnées seront négligeables. Toutefois, sur l'ensemble, le résultat sera une série de petits domaines homogènes au hasard, et dans les montagnes un système peu cohérent, en tout cas il ne pourra pas être celui des topographes.

LE MÉLANGE DES MESURES.

Le topographe va arriver au milieu de tous ces points de base "tombés du ciel", tant qu'il utilisera des récepteurs G P S sur de petites distances sans grandes dénivelées, personne n'y verra rien, il passera des coordonnées géocentriques aux coordonnées de la projection nationale sans douleur, des quantités de logiciels tout faits font cela très bien.. Si les distances sont longues il faudra se poser le problème de leur utilisation.

Une première question se pose : pourquoi ne pas passer directement des coordonnées tri-rectangulaires **directement** aux coordonnées de la projection nationale. Il semble bien qu'il existe une projection stéréographique due à M H.M Dufour Ingénieur Général Géographe qui fait cela très bien.

On aura remarqué que pour le tracé du Tunnel sous la Manche on a décomposé les "vecteurs GPS" en azimut et longueur sur le géoïde de ce vecteur en calculant des coordonnées réellement bi-dimensionnelles la latitude et la longitude en cheminant sur une surface que connaît bien l'utilisateur : le géoïde. "L'ajustement était fait en bi-dimensionnel, les résultats GPS furent convertis, à l'époque, en pseudo-observations d'azimuts et de distances avec des poids appropriés et permirent d'obtenir le R T M 87 (Réseau Trans Manche 1987) qui servit d'appui aux travaux de percement" [3].

Le problème commencera à se poser lorsque le topographe voudra mélanger des mesures traditionnelles (théodolite et mesures électroniques des distances) avec les mesures GPS qui sont de toute autre nature.

Le problème a été traité [2] et rappelé dans un ouvrage récent [4] : Sa solution consiste à calculer et compenser tous les points G P S et autre dans le système international géocentrique, disons qu'au passage il est recommandé de connaître une estimation de la "déviation de la verticale" dans la zone considérée, mais on devine qu'on doit s'en passer fréquemment... On a essayé cette méthode en développant les cas du relèvement et de l'intersection, et constaté [5] qu'il fallait disposer de mesures de distances zénithales non ridicules, c'est-à-dire correctement corrigées de la réfraction. Dans le cas contraire, si on fait des calculs en bi-dimensionnel avec les mêmes mesures d'angles horizontaux on trouve des résultats différents ! Peu différents mais différents.

Evidemment "in fine" on calcule les coordonnées géographiques latitude longitude et

hauteur au-dessus de l'ellipsoïde et on passe à la projection.

On peut, également tout calculer sur un plan moyen ou un référentiel tridimensionnel tangent au point moyen du chantier, cette manière est tentante, on l'utilise couramment en photogrammétrie, mais on a alors une grande quantité de corrections à appliquer ou de passages du plan au tridimensionnel local. Des logiciels font cela très bien.

Enfin, on peut tout simplement, calculer d'abord les vecteurs G P S, les projeter sur l'ellipsoïde puis les faire entrer dans la projection, pour, seulement après, calculer les différences de coordonnées des points relevés par des mesures traditionnelles (corrigées du dv et des diverses corrections d'échelle) directement dans la projection cette-fois ci, mais cela peut, si par mégarde on ne travaille pas sur de simples différences de coordonnées, donner aux points G P S une position privilégiée qu'ils ne méritent peut être pas.

En fait, sans qu'on en ait bien pris conscience, le travail du topographe est devenu très compliqué, il a été rattrapé par la géodésie triomphante.

UNE PROPOSITION.

Récemment, un géodésien [6-7] a proposé de faire deux calculs et deux compensations pour les mesures G P S :

1°/ Le calcul et la compensation que l'on connaît des coordonnées géocentriques tri-rectangulaires destinées à la géophysique des points G P S. On ne calculerait pas les coordonnées bi-dimensionnelles latitude et longitude.

2°/ Un second calcul et une seconde compensation, indépendants du précédent, en décomposant chaque vecteur G P S mesuré par les géodésiens dans sa longueur réduite au géoïde et son azimut et de calculer les coordonnées géographiques bi-dimensionnelles latitude et longitude des points sur un ellipsoïde, éventuellement décalé pour le rapprocher du géoïde. Ces coordonnées seraient réservées aux usages topographiques et cartographiques.

Hélas, en France malgré le précédent du Tunnel sous la Manche on n'est pas près de s'orienter dans cette direction[8].

On pourrait même dire que le désastre est consommé puisqu'il semble que pour la traversée du Sund entre le Danemark et la Suède on ait établi

un nouveau système géodésique particulier de référence[9] nommé DK S avec le motif suivant :

"le Danemark et la Suède emploient des systèmes de coordonnées assez différents c'est pourquoi on a été amenés à définir un nouveau référentiel le système DK S qui est basé sur une projection de Mercator locale avec un méridien origine au centre de l'Öresund"[9].

Si on n'y prend garde chaque nouveau grand chantier verra fleurir son référentiel local particulier. On peut penser que la liaison Maroc-Espagne sous le détroit de Gibraltar concocte dans son coin un petit référentiel local.

CONCLUSIONS

On admettra bien volontiers que nos remarques ne sont pas nouvelles, bien des auteurs avant nous se sont inquiétés des problèmes liés aux choix des référentiels [10][11] [12], mais aucun d'entre eux n'a aussi bien posé le problème que ceux-ci poseront aux topographes que l'Ingénieur Général A. Fontaine[6][7].

Nous allons entrer dans une période d'activité solaire intense, les mesures G P S seront médiocres, on sera donc tenté de reprendre les mesures traditionnelles, ne serait-ce que pour faire les canevas complémentaires, inévitablement le mariage des deux types de mesures se posera avec acuité,

BIBLIOGRAPHIE

[1] C.Boucher : Transformations entre coordonnées cartésiennes tridimensionnelles et les coordonnées géographiques ellipsoïdales- Etude des Algorithmes Notes techniques n°8 et 9 : I G N Mars 1980.

H.Duquesne : Coordonnées et systèmes géodésiques en usage en France: E N S G, C P R d'astronomie et de géodésie : Mars 1988.

[2] W.A.Heskanen et H.Moritz-Physical Geodesy: W.H.Freeman San Francisco 1967, réimpression de 1993 à l'Université de Gratz – Autriche.

[3] P.Willis et C.Boucher : L'unification des références géodésiques : L'exemple du Tunnel sous la Manche in X X Z N° 62 – 1995.

[4] A.Leick - Geometric Geodesy, 3-D Geodesy, Conformal Mapping: Report N°19 University of Maine Orono Maine 1990.

E.F.Burkholder - Using G P S Results in True 3-D Coordinates System: Journal of Surveying Engineering Vol 119 N°1 Février 1993.

G.Strang & K.Barre : Linear Algebra, Geodesy, and GPS: Wellesley-Cambridge press 1997.

[5] C.Million : Tendances actuelles en matière de calcul des canevas de base in X Y Z n°78 1999-1.

C.Million : L'intersection 3D: X Y Z n°72 - 1997-3.

[6] A. Fontaine - Géométrie et Géodésie in X Y Z n°61 1994-4.

[7] - Incontournable Géodésie in X Y Z n°79 1999-2.

[8] C.Luzet - Evolution du Canevas Géodésique National, Etat d'avancement du réseau géodésique Français : X Y Z n°69 1996-4.

Le Pape - Tribune des lecteurs : X Y Z n°71 1997-2 p 48.

[9] P.Nörgård-The Oresund link: Bridging the gap between Denmark and Sweden with R T K

G P S in G P S World October 1998.

[10] M.B May- Gravity and the G P S : The G Connection. :in G P S World July 1996.

[11] W.Featherstone, R.B Langley -Coordinates and datums and Maps ! Oh My ! In G P S World January 1997.

[12] G.Stemberg, H.Pappo - Ellipsoidals Heights : The Future of Vertical Control - in G P S World, February 1998.