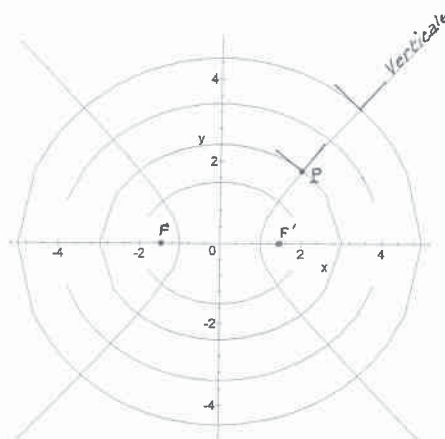
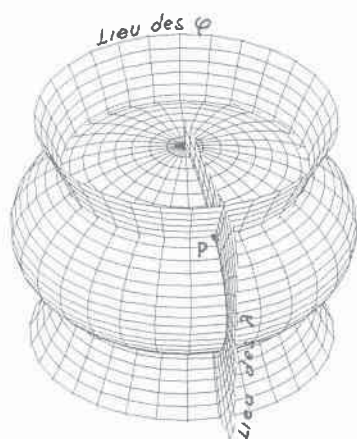


Ah ! la géodésie !

libres propos

vous avez dit ellipsoïde ?



les
états
d'âme
de
monsieur
lambda

Claude Million

LES ETATS D'AME DE MONSIEUR LAMBDA

La classification des humains par ordre décroissant de "valeur", de alpha pour les meilleurs, à oméga pour les moins bons, selon l'ordre de l'alphabet grec, est due à Aldous Huxley dans "le Meilleur des Mondes" titre mal traduit pour "Brave New World"(1), mais que la référence au meilleur des mondes possible du docteur Pangloss dans "Candide" fera pardonner. Curieusement, ce ne sont ni les "alphas" ni les "omégas" qui sont entrés dans le langage courant, mais bien les "lambdas" considérés comme les "moyens", pas trop "alphas" et pas vraiment totalement "omégas".

Il se trouve que, parfois, les lambdas n'apprécient pas qu'on les traite comme des omégas. C'est le cas dans ce qui nous occupe :

Depuis plusieurs publications de XYZ [1] une sourde controverse semble opposer les tenants d'une géodésie géométrique tridimensionnelle à ceux d'une géodésie bidimensionnelle [2]. Ces derniers affirmant que le passage de la triangulation classique à la détermination des points de base du réseau Français par des récepteurs GPS s'est doublé, sans qu'on en soit vraiment ni conscient ni avisé, d'un changement fondamental de conception de la géodésie et de ses bases, et qu'en conséquence il conviendrait de recalculer le réseau géodésique issu des mesures GPS en décomposant les vecteurs mesurés en leurs trois composantes : longueur pente et azimuth, pour les "appliquer" sur l'ellipsoïde après réduction de ces mesures au géoïde, comme on le faisait pour les mesures traditionnelles.

À l'inverse, les premiers affirment qu'il n'est nul besoin de jeter le doute dans le public pour des bagatelles de peu d'importance, et campent sur cette position, alors que les seconds réitérent leurs critiques. Depuis, apparemment, un texte légal est venu mettre fin à la discussion, sans pour autant apporter autre chose au débat que des "obligations de faire", sans comprendre et sans discuter.

Le problème dans tout cela c'est que le public, en raison des précautions oratoires prises de part et d'autre, ne sait même pas de quoi il s'agit. Peut-être voudrait-il juger par lui-même si ce ne sont vraiment que des détails et des débats entre spécialistes auxquels il ne peut s'intéresser ou une modification fondamentale des systèmes de référence ?

Il est évident que les critiques apportées ne touchent en réalité que les topographes et leurs clients, alors qu'ils ne prennent pas part au débat, les géodésiens ne semblant pas être concernés par ces modifications.

LES ARGUMENTS

Prenons les arguments avancés :

1. Pour l'essentiel, les calculs GPS, qui sont menés dans un espace géocentrique tridimensionnel, donnent des positions des points dans ce système, ces positions ne pourraient pas être transformées en coordonnées géographiques sans approximations contestables car étant de nature trop différente. La réalité est plus simple encore :

Jusqu'ici les travaux des **géodésiens** et des **topographes** étaient rapportés au géoïde, l'ellipsoïde de référence était considéré comme une image proche de ce dernier lequel était inconnu ; or, apparemment, les calculs de transformations des coordonnées (notamment l'algorithme d'Helmert) passent directement de la surface topographique à l'ellipsoïde par une projection orthogonale sans passer par le géoïde, comme auparavant. De plus, l'ellipsoïde WGS 84 est très éloigné du géoïde (50 m environ pour la France) alors que les écarts entre l'ancien

(1) Brave en américain a le double sens de courageux et de sauvage.

ellipsoïde et le géoïde ne dépassaient jamais, ou alors exceptionnellement, 5 ou 6 mètres.

2. On donne la preuve des difficultés que devraient en attendre les utilisateurs dans le fait que les mesures GPS faites pour asseoir le réseau géodésique du Tunnel sous la Manche ont été calculées, très précisément, comme le suggérerait l'auteur, c'est-à-dire que chaque vecteur a été décomposé en ses constituants avant de les appliquer sur l'ellipsoïde, lequel était très voisin du géoïde.

3. A l'occasion d'un appel fait par les topographes du Port de Dunkerque afin de susciter des opinions extérieures sur l'avenir des mesures GPS, l'auteur répond que, dans les conditions actuelles, il n'y a aucun autre avenir que celui d'avoir une multitude de réseaux indépendants [2]. Est-ce si grave que cela ?

4. L'auteur cite enfin une source d'erreur systématique assez troublante et que Monsieur Lambda comprend sans qu'il lui soit besoin d'une autre explication. On va la résumer ci-après :

Les calculs de l'ancienne géodésie étaient menés sur un ellipsoïde proche du géoïde sur lequel étaient rapportées toutes les mesures. Or on a vu que l'ellipsoïde actuel (GRS 80) est, en France Métropolitaine, à environ 50 mètres sous le géoïde, ceci a pour conséquence un écart moyen d'échelle de 50/6371 000 soit 1/120 000* (la tolérance étant de 1/1 000 000), ce qui, aujourd'hui, n'est pas négligeable, alors qu'hier, sans les mesures électroniques des distances, cela aurait pu être considéré comme sans importance.

Il est bien évident que tous ces arguments sont troublants et que Monsieur Lambda aimerait y voir plus clair, surtout qu'il sent bien qu'il sera le seul à subir les conséquences de cette anomalie.

Pour cela, comme apparemment on joue aux devinettes, on va proposer des explications dans l'espoir de savoir, enfin, si on est sur la bonne voie.

LES EXPLICATIONS LAMBDA

En bien des circonstances le topographe ne se soucie guère des réductions des mesures de distance à l'ellipsoïde de référence ; Après une consultation autour de lui, qui n'a pas la valeur d'un sondage mené par des voies incontestables, Monsieur Lambda peut même dire que ses clients ne comprendraient pas qu'il fasse autrement, ils veulent que les mesures calculées ou "kutschées" soient les vraies mesures des ouvrages à réaliser d'après les plans qu'on leur livre. Exemple : si EDF vous demande un profil en long pour l'étude d'une ligne, cet organisme est intéressé par les longueurs et les dénivelées entre pylônes et pas du tout par la projection sur l'ellipsoïde des longueurs horizontales, il n'est pas plus intéressé par des dénivelées qui sont la valeur du travail nécessaire pour transporter un corps entre les deux points, pour ses câbles il préfère la vraie distance géométrique !

Une consultation, sur ce sujet, avait été faite aux Etats Unis auprès des fournisseurs du Ministère des Transports (DoT) [3] On avait essayé de mettre les personnes consultées en porte à faux, car, en principe elles auraient dû respecter le cahier des charges qui imposait le raccordement de tous leurs réseaux aux systèmes géodésiques officiels, alors qu'en pratique leur client officiel leur

imposait de ne pas faire la correction d'échelle afin d'avoir des mesures utilisables "brutes". Tout le monde se sortait de ce dilemme en affirmant qu'il était très facile d'appliquer, après coup, une correction d'échelle aux coordonnées, si deux réseaux devaient être raccordés... On obtiendrait, chez nous, la même réponse.

Ceci nous paraît être un argument en faveur des tenants de la géodésie géométrique tridimensionnelle, en effet les différences de hauteurs au-dessus de l'ellipsoïde sont géométriques et les "vraies" distances peuvent être tirées des coordonnées géocentriques.

Toutefois, il semble qu'il faudrait la pratiquer totalement c'est-à-dire sans passage aux coordonnées géographiques et sans passage à une projection quelconque, le système général étant cartésien géocentrique, c'est-à-dire le système de calcul de GPS [3] [4]. Mais tout cela n'a plus rien à voir avec les dispositions législatives ! En effet les difficultés surgissent lorsqu'on compare les coordonnées géographiques des deux systèmes proposés, elles sont incompatibles : Les anciennes coordonnées n'étaient que la latitude et la longitude sur un ellipsoïde très proche du géoïde, les nouvelles coordonnées sont encore la latitude et la longitude, mais pas les mêmes, plus la hauteur au-dessus de l'ellipsoïde très éloigné du géoïde.

LA COURBURE DE LA VERTICALE

Les arguments 1° et 2° sont plus obscurs : il est étrange d'affirmer qu'il n'est pas possible de passer d'un système de référence cartésien géocentrique aux coordonnées géographiques **alors qu'on le fait tous les jours**, mais, en fait, on transforme un système tridimensionnel en un autre système tridimensionnel, et lui "retirer" sa troisième coordonnée n'en fait pas un système bidimensionnel ! C'est sur ce point qu'on voudrait des explications consistantes.

Si on se rapporte à la pratique courante attribuée à Helmert [5] on projette le point P connu en coordonnées cartésiennes géocentriques sur l'ellipsoïde de référence de la figure en P'. En faisant cela, on commet une erreur qui est due à la courbure de la verticale entre le point projeté et le point correspondant de l'ellipsoïde Q.

En effet, la verticale est orthogonale aux surfaces d'égal potentiel de la pesanteur dont les sections orthogonales seraient idéalement des arcs d'hyperboles si le géoïde était... un ellipsoïde, voir encore la figure. La pratique courante serait donc fautive, mais il n'y aurait rien de plus simple que de la corriger, et c'est là que Monsieur Lambda reste perplexe :

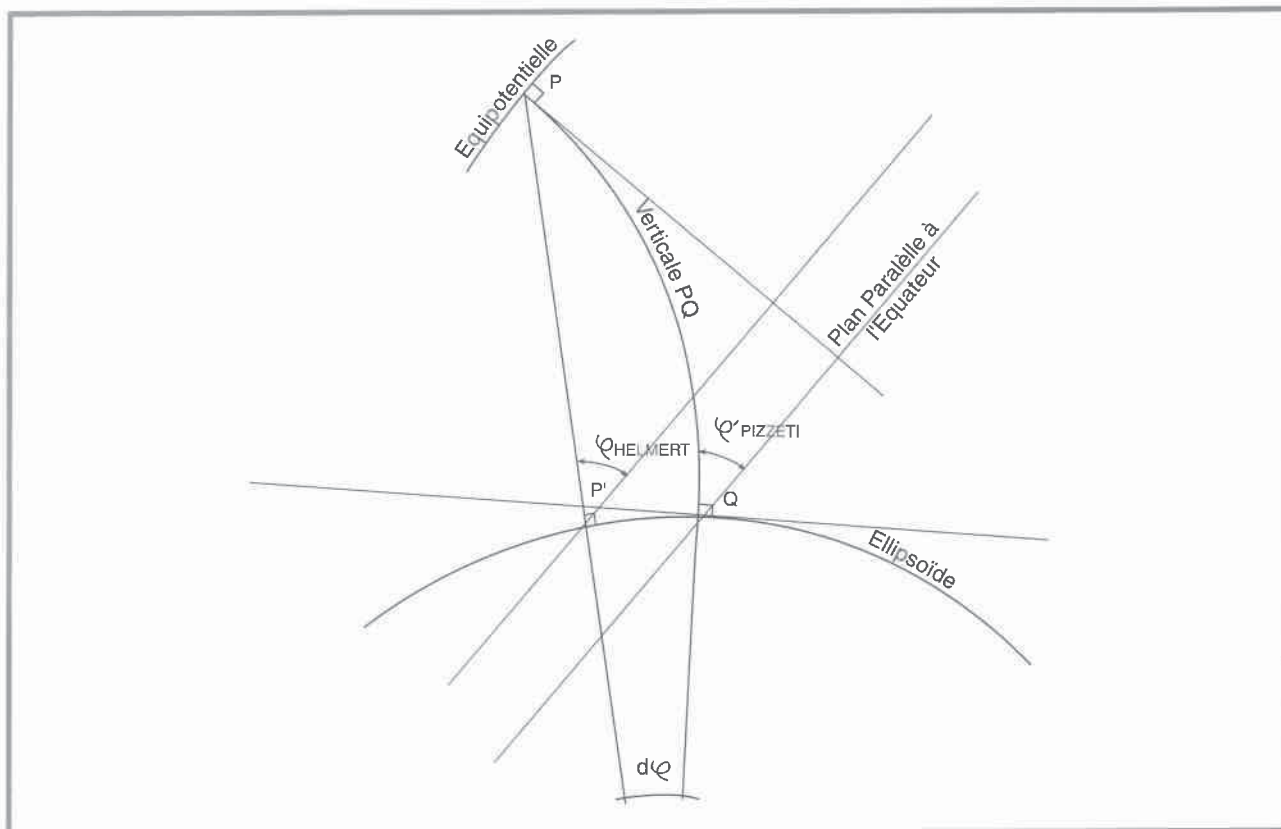
Selon [5] qui constitue, bien que l'ouvrage commence à dater, une sorte de bible en la matière, la correction serait de :

$$d\varphi = f^* \cdot \frac{h}{R} \cdot \sin(2\varphi)$$

Avec f^* aplatissement gravitaire (2) donné dans GRS80 [4], h hauteur du point au-dessus de l'ellipsoïde, R rayon de courbure en ce point, φ étant la latitude et $d\varphi$ la correction à y apporter. Sous nos latitudes la correction est maximale (pour 45° exactement) :

$$d\varphi = 0,005302 \cdot \frac{h}{r}$$

(2) $f^* = \frac{\gamma_a - \gamma_b}{\gamma_b}$



Soit pour une dénivelée de 100 mètres, $8,32 \cdot 10^{-8}$ radians, ce qui paraîtra vraiment petit, sauf que sur la sphère moyenne cela fait une erreur de 0,53 m ! L'écart qui existe entre le géoïde et l'ellipsoïde de référence de GRS80 introduirait, déjà, une erreur systématique de 0,27 m en latitude seulement. Selon la même source cela s'appellerait la projection de Pizzeti, par opposition à la projection de Helmert qui se pratique couramment.

Que diable, si ce n'est que de cela, pourquoi ne le fait-on pas ?

Toutefois, il est impossible que ce débat soit aussi simple à trancher, pourquoi, dans ce cas, faire les calculs sur l'ellipsoïde comme on l'a fait pour le Tunnel sous la Manche, au lieu d'appliquer cette correction ?

En fait les choses sont fort simples, la relation d'Helmert est réversible, avec ou sans la correction de Pizzeti : le système latitude, longitude, et hauteur au-dessus de l'ellipsoïde n'est que le fils du système tridimensionnel géocentrique, c'est une autre manière conventionnelle d'exprimer les coordonnées géocentriques XYZ ! C'est, peut-être de s'en servir comme d'un système bidimensionnel dans les applications topographiques qui est fautif ? Et cela, pour Monsieur Lambda, c'est grave, très grave.

Réglons le problème d'échelle qui est vraiment ridicule en rappelant que cela peut aussi se faire au niveau de la projection.

Mais aussi, afin d'éviter les systématismes dus à la séparation entre l'ellipsoïde et le géoïde, pourquoi ne pas utiliser l'artifice de Vincenty [7] qui consiste, dans ce cas, à allonger le grand axe de l'ellipsoïde de référence de la plus grande partie de l'écart qui le sépare du géoïde, disons 50 m, soit pour la France, de prendre un grand axe de $a = 6738\,137 + 50$ mètres ? Dès lors, la proximité de l'ellipsoïde et du géoïde fera que des systématismes

disparaîtront... L'Australie a adopté un géoïde géocentrique différent de celui de GRS80 de la hauteur moyenne du géoïde au-dessus de cette île continent qui n'a pas de problèmes de raccordement avec ses voisins aux frontières !

LA PROJECTION SUR LE GÉOÏDE

Le seul vrai problème, qui apparaît bien comme insoluble, est celui de la projection du point topographique en 3D sur le géoïde, il faudrait, pour cela, connaître tout au long de la verticale, non seulement sa courbure, mais aussi ses déviations par rapport à la normale de l'ellipsoïde. L'écart-type des déviations de la verticale, dans le monde entier, est tout de même de 7", 35 !

Bien entendu, cela est impossible, et ne se pratique pas. L'incompatibilité entre les deux systèmes vient surtout du fait que dans l'ancien référentiel on avait choisi un point origine : pour la France dans le Nord de Paris, aux Etats-Unis le célèbre Meades Ranch, là où le géoïde et l'ellipsoïde étaient confondus, dans le nouveau système c'est le centre des masses de la terre, il devient impossible de passer de l'un à l'autre sans admettre des approximations locales que seuls, pour l'instant, les Américains ont le courage de chiffrer.

On croit qu'une meilleure connaissance du géoïde permettrait, à l'inverse de ce qui se faisait dans le passé où on déterminait le géoïde par point à partir de déterminations astro-géodésiques de la verticale, de déterminer les "déviations de la verticale" à partir de nos connaissances sur le géoïde, mais cela ne servirait de toutes les façons à rien.

Les auteurs Américains, qui sont loin d'avoir nos scrupules, rêvent bien d'un géoïde de précision millimétrique et d'y parvenir ! Mais par petites zones.

DEUX CONTRE-EXEMPLES : AÉROPHOTOGRAMMÉTRIE ET BALAYAGE LASER

On a indiqué que le topographe serait la première victime du changement, sournois ou involontaire, de référentiel. Pour être complet il convient de donner deux contre-exemples significatifs et récents :

1. L'aérophotogrammétrie, qui dans son essence travaille dans un espace 3D [10], surtout l'aérotriangulation appuyée sur GPS, ignore superbement le géoïde, sauf quand on utilise des contorsions difficilement descriptibles, par lesquelles les points d'appuis connus par leurs coordonnées 2D + 1, dans la projection en usage localement, sont transformées en coordonnées 3D d'un système tangent au point moyen du chantier. Ce qui impose de transformer les points GPS des sommets perspectifs, connus dans un système 3D géocentrique, dans ce système 3D local assez étrange. L'aérophotogrammétrie est, par essence, le domaine des artifices géométriques, c'est, d'ailleurs, ce qui fait tout son charme, et on dit cela sans malice.

2. Le balayage laser, pour les mêmes raisons, fait de même, la géométrie où on évolue étant exactement la même, voir une description très détaillée dans [11].

Dans ces cas, et peut-être dans bien d'autres auxquels on n'a pas pensé, on aurait tout intérêt à travailler dans un système 3D géocentrique, et à oublier l'ancien référentiel, alors que dans la topographie traditionnelle, indiscutablement l'ancien système restera toujours le meilleur.

CONCLUSIONS

Il est tout à fait normal que le ton de la controverse technique ou scientifique reste mesuré. Toutefois, que cette mesure, louable en soi, atteigne le fond du problème, au point que les principaux intéressés ne puissent savoir de quoi il s'agit est, peut être, excessif.

Donc, Monsieur Lambda prend ses responsabilités :

Il est, par exemple, inexact de dire que le nouveau système ne permet pas de restituer les longueurs réduites au géoïde, comme pour une mesure de base : Le système : latitude longitude et hauteur au-dessus de l'ellipsoïde permet de calculer la distance géométrique entre deux points. Si on connaît, aussi, les altitudes de ces deux points (et non plus leurs seules hauteurs au-dessus de l'ellipsoïde) il est facile, dans certaines conditions, de calculer la distance rabattue sur le géoïde.

Il est, en revanche, aussi inexact de laisser croire aux topographes qu'ils pourront continuer leurs calculs plans comme par le passé et retrouver sur leurs plans en projection les distances et les angles qu'ils auront mesurés, ils trouveront autre chose, le tout sera soit noyé dans des corrections diverses à appliquer ou, pour les paresseux comme Monsieur Lambda, dans la compensation...

Quoi qu'il en soit monsieur Lambda reste sur sa faim, et le fait qu'il soit le premier à sortir de la tranchée au point de risquer d'être ridicule si ses hypothèses ne sont pas les bonnes, mériterait une explication claire sur le fond du débat; s'il y a débat, car ce que les Américains appellent "benign neglect" ne constitue pas une réponse c'est tout juste une esquivé; il faut l'engager et le clore.

Pour l'instant, à défaut de jouer aux devinettes, seules les positions Américaines sont claires [1] [2], les seules coordonnées valables universellement sont les coordon-

nées géocentriques tridimensionnelles XYZ, et il faut inviter les topographes à se rallier à cette position et à conduire leurs calculs dans ce système, mais alors ils enfreindraient la loi. En outre, lorsqu'on traduit les mesures traditionnelles dans ce système on rencontre des difficultés non négligeables [12]. La nécessité de mesurer les distances zénithales, à tout le moins correctes, n'est pas des moindres [13].

Si les utilisateurs voulaient d'autres coordonnées qu'ils précisent leurs contraintes, les transformations seraient faites en conséquence, mais pour leurs seuls besoins, en fonction, notamment, des problèmes liés aux écarts entre le géoïde et l'ellipsoïde et à la pesanteur locale [8].

Rappelons toutefois que 90 % des réseaux topographiques resteront indépendants, et que se raccorder au réseau géodésique est, le plus souvent, plus un moyen de se contrôler que celui de s'incorporer à un système général car cela ne présente que peu d'intérêt pour le client, lequel, dit-on, a toujours raison, même avant la loi.

De toutes les façons, même internationalement, le sujet est considéré comme épineux, certains, et non des moindres, utilisent des points d'exclamation [9] d'autres préfèrent écrire : "Qu'on ne peut pas toujours suivre tous les méandres des subtilités de la géodésie". [10]

BIBLIOGRAPHIE

- [1] C. Luzet - Evolution du Canevas Géodésique National, Etat d'avancement du réseau géodésique Français : XYZ n° 69 1996-4.
Le Pape - Tribune des lecteurs : XYZ n° 71 1997-2 p 48.
- [2] A. Fontaine :
 - Géométrie et Géodésie in XYZ n° 61 1994-4.
 - Incontournable Géodésie in XYZ n° 79 1999-2
- [3] E.F.Burkholder - Using GPS Results in True 3-D Coordinates System : Journal of Surveying Engineering Vol 119 N°1 Février 1993.
- [4] A. Leick - Geometric Geodesy, 3-D Geodesy, Conformal Mapping : Rapport N° 19 University of Maine Orono Maine 1990.
- [5] W.A.Heskanen et H. Moritz - Physical Geodesy : W.H. Freeman San Francisco 1967, réimpression de 1993 à l'Université de Gratz - Autriche.
- [6] H Moritz - Geodetic Reference System 1980 : Bulletin Géodésique 1984.
- [7] T. Vincenty - Zur Räumlich-Ellipsoïdischen Koordinaten-Transformation : in Zeitschrift für Vermessungswesen, 11-1980.
- [8] M.B.May- Gravity and the GPS : The G Connection. : in GPS World July 1996.
- [9] W. Featherstone, R. B Langley - Coordinates and datums and Maps! Oh My! In GPS World January 1997.
- [10] G. Sternberg, H. Pappo - Ellipsoidals Heights : The Future of Vertical Control - in GPS World, February 1998.
- [11] P. Axelsson, H. Sterner - Laser-scanning, une nouvelle technique, de nouvelles possibilités in XYZ n° 78 1999-1.
- [12] C. Million Tendances actuelles en matière de calcul des canevas de base in XYZ n° 78 1999-1.
- [13] G. Strang & K. Borre : Linear Algebra, Geodesy, and GPS : Wellesley-Cambridge Press 1997.