

Le Buzz autour du méridien de Greenwich

■ Françoise DUQUENNE

On a pu lire récemment dans la presse des articles alarmants sur ce bon vieux méridien de Greenwich origine internationale de l'heure et des longitudes depuis 1884. On y lit "Le méridien de Greenwich est mal situé", "le méridien de Greenwich n'est pas à la bonne place".

On y accuse même nos pauvres prédécesseurs du XIX^e siècle d'avoir oublié que la terre était ronde, eux qui n'ont eu comme préoccupation que de déterminer le plus précisément possible l'aplatissement de la Terre pour la modéliser par un ellipsoïde de révolution, voire même par un géoïde.

L'origine de ce tapage médiatique est la publication d'un article très sérieux au titre provocateur "Why the Greenwich meridian moved" [1] et qui semble-t-il n'a pas été compris par tous.

MOTS-CLÉS

Greenwich, ETRF, méridien, ITRF

Evidemment on ne peut plus rien cacher au commun des mortels qui utilise Google Earth ou qui voit s'afficher la longitude et la latitude sur son téléphone grâce à GPS. La longitude zéro ne passe pas par la verticale du mythique cercle méridien d'Airy installé dans le vieil observatoire de Greenwich mais à une centaine de mètres plus à l'Est.

Certes les fidèles lecteurs de XYZ sont des gens avertis depuis longtemps par un article de Robert Vincent dans le numéro XYZ 120 [3], revenons cependant sur des notions fondamentales de Géodésie.

Qu'est-ce que le méridien d'un lieu ?

L'observation des étoiles a permis dans l'antiquité de remarquer qu'il y avait une direction (Nord-Sud) dans laquelle tous les astres culminaient (passaient au plus haut dans le ciel). Le soleil bien sûr en tout premier, d'où la notion de midi, quand le soleil passe au méridien, on est au milieu de la journée. Interviennent dans ce constat deux directions privilégiées, l'axe de rotation de la Terre qui est responsable du mouvement apparent des étoiles et la verticale du lieu. D'où une première définition du plan méridien astronomique, plan passant par le lieu et contenant la direction de sa verticale et une parallèle à l'axe de rotation de la Terre. Ce plan est représenté sur un modèle de Terre sphérique par un demi-grand cercle passant par les pôles, intersection de l'axe de rotation de la Terre avec la sphère que l'on appelle de manière usuelle méridien ou méridienne. Si la verticale d'un lieu peut être considérée comme fixe par rapport à la Terre, il n'en est pas de même pour l'axe instantané de rotation de la Terre, le pôle se déplaçant de plusieurs mètres en un peu plus d'un an (période de Chandler). Il n'est pas question de s'étendre sur ce problème ici, on dira juste qu'il a été résolu par l'adoption d'un axe des pôles conventionnel (CIO : *Conventional*

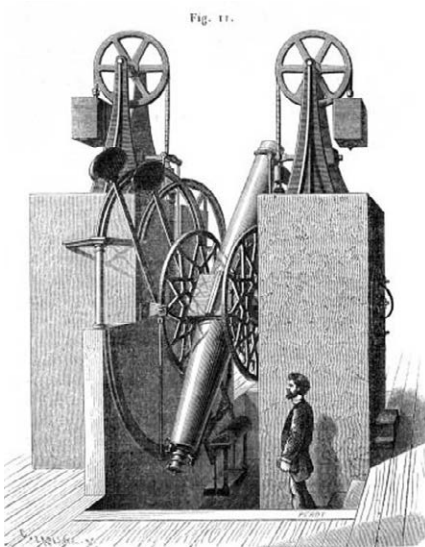


Figure 2. Mise en lumière du méridien de Greenwich[2]

International Origin) par rapport auquel on a pu initialement par astronomie et maintenant par géodésie spatiale déterminer le mouvement du pôle instantané (la polhodie). La longitude astronomique d'un lieu est l'angle entre deux plans méridiens l'un origine (c'est ainsi que le méridien de Greenwich a été choisi internationalement en 1884) et l'autre celui du lieu.

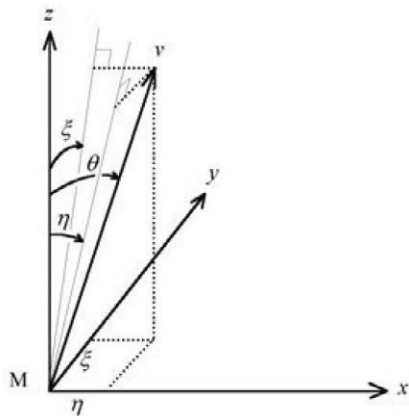
Dès le XVIII^e siècle est venue l'idée de représenter la terre par un ellipsoïde de révolution, forme mathématique de la Terre débarrassée de ses reliefs, et apparaît alors un nouveau type de méridien : le méridien géodésique défini par la direction du demi-petit axe de l'ellipsoïde (aussi axe de révolution) et la normale à l'ellipsoïde passant par le lieu. On définit alors la longitude géodésique comme étant l'angle entre le plan méridien géodésique et un plan méridien origine.

Or en un lieu, la verticale et la normale à l'ellipsoïde ne sont pas confondues, l'angle θ entre les deux est appelé **déviations de la verticale**.



Cercle méridien de l'Observatoire de Greenwich.

Figure 1. Cercle Méridien d'Airy [2]



Mx, z : repère local géodésique
 Mz : direction de la normale à l'ellipsoïde
 Mx : vers l'Est
 Mz : vers le Nord
 θ : déviation de la verticale
 η, ξ : composantes est et nord de la déviation de la verticale
 λ_a, φ_a : longitude et latitude astronomiques
 λ_g, φ_g : longitude et latitude géodésiques
 $\eta = (\lambda_a - \lambda_g) \cos \varphi$
 $\xi = (\varphi_a - \varphi_g)$

Figure 3. La déviation de la verticale

Là où ça se complique, c'est qu'il y a plusieurs méridiens géodésiques en un lieu, car cela dépend des dimensions de l'ellipsoïde et de sa position par rapport à la terre. Autrement dit ça dépend du système de référence géodésique (Système de Référence Terrestre ou SRT).

Avant l'ère spatiale, l'élaboration de réseaux géodésiques par triangulation a permis à chaque pays de définir un système de référence terrestre quasi géocentrique, c'est-à-dire en définissant un point fondamental, où on a pris comme coordonnées géographiques géodésiques, les coordonnées déterminées par astronomie. Autrement dit on a imposé qu'en ce point la déviation de la verticale serait nulle (il y a quelques cas où on a imposé une valeur non nulle). Les dimensions de l'ellipsoïde ont été choisies de façon à correspondre au mieux localement, ce qui explique la variété d'ellipsoïdes. De ce fait le centre de l'ellipsoïde n'est pas géocentrique mais à quelques centaines de mètres du centre de la Terre. Le seul lien qu'il y a alors entre le méridien national qui est celui du point fondamental (en France la croix du Panthéon) et le méridien de Greenwich est la longitude déterminée au point fondamental par mesures astronomiques. On peut remarquer ici que si les deux méridiens astronomique et

géodésique coïncident au point fondamental, ce n'est plus le cas ailleurs du fait de la variabilité de la direction de la verticale.

Pouvait-on alors dire que le méridien de Greenwich était l'origine des longitudes ? Par exemple en France, dans le système géodésique NTF, l'origine des longitudes est le méridien géodésique de Paris. En Angleterre le point fondamental du système de référence géodésique l' OSGB1936, est resté positionné sur la station de la lunette de Bradley à environ 13 mètres à l'ouest du cercle d'Airy.

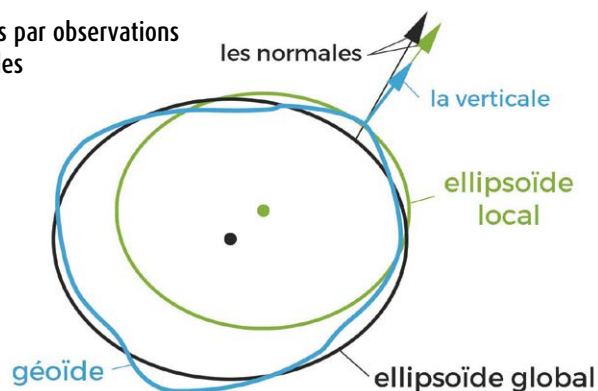
Sur les mappemondes, les atlas, ou même les cartes nationales, vu la précision du tracé, l'approximation pouvait se faire, et les moyens d'observations (en particulier astronomiques) n'étaient pas à la portée de tout le monde.

Devenant mondiale l'approche a été différente, quand la géodésie spatiale a émergé. On a cherché à positionner un ellipsoïde, dont les dimensions conviendraient le mieux possible globalement, et dont le centre serait le plus proche possible du centre de gravité de la terre. De ce fait, la déviation de la verticale n'est en général pas nulle et atteint des valeurs plus grandes que dans le cas précédent.

Détermination de la déviation de la verticale

La détermination de la déviation de la verticale se fait donc en déterminant à la fois des coordonnées géodésiques et des coordonnées astronomiques en un point. Par exemple, dans les observatoires astronomiques, par observations GNSS on obtient des coordonnées géodésiques très précises dans ITRF, que l'on peut comparer aux coordonnées astronomiques.

Figure 4. SRT réalisés par observations classiques ou spatiales



On peut aussi déterminer la déviation de la verticale par mesure du champ de pesanteur :

$$\eta_{grav} = -\frac{\partial N}{R \cos \varphi \partial \lambda}$$

$$\xi_{grav} = \frac{\partial N}{R \partial \varphi}$$

N : hauteur du géοïde au-dessus de l'ellipsoïde

R : Rayon terrestre moyen

Le tableau ci-dessous permet de voir sur quelques observatoires quelle est la distance (D) entre le méridien astronomique et le méridien géodésique ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) ou WGS84 (*World Geodetic System*). L'ordre de grandeur est la centaine de mètres. La dernière colonne donne l'écart obtenu en utilisant la détermination avec le modèle de géοïde EGM2008, dont l'ordre de grandeur, on le constate, est de plusieurs mètres.

Et voilà donc pourquoi quand on se positionne sur le méridien astronomique de Greenwich avec GPS dans le WGS84 ou bien l'ITRF, la longitude géodésique obtenue n'est pas nulle.

Les coordonnées GPS données par le téléphone portable ou sur Google Map, sont des coordonnées géodésiques dans le WGS84 de précision métrique.

Les professionnels de la topographie déterminent couramment par mesures GNSS des coordonnées géographiques (RGF93, ETRS89, ITRF) de précision centimétrique, et donc il semble légitime de vouloir positionner le méridien origine et le matérialiser au sol avec cette précision. Alors il faut se poser les deux questions suivantes : le méridien origine est-il unique ? bouge-t-il par rapport au sol ?

Pour répondre à ces questions, procédons à des calculs avec le logiciel en



Tableau 1. Différences entre longitudes astronomique et géodésique (ITRF) en seconde (") de degré et en mètres. Les valeurs sont issues de [1]

Observatoire	$(\lambda_a - \lambda_g)$ (") de degré	D (mètres)	$\Delta\text{EGM2008}$ (") de degrés
GREENWICH	5,3	102	+ 0,4
PARIS	2,2	41	- 0,3
GRASSE	10,9	244	- 1,3
BESANCON	-6,3	132	+ 0,1



ligne de transformation ITRF/ETRF du service EPN (*European Permanent Network* : <http://epncb.oma.be/>).

Au préalable rappelons ce que sont ITRF, ETRF (*European Terrestrial Reference Frame*), RGF93 (Référentiel Géodésique Français). Dans l'article de Claude Boucher, publié dans ce numéro à la suite de cet article, vous trouverez toute la genèse du système de référence ITRS, complétons ici en rappelant que ce système est réalisé par un réseau de stations réparties sur la Terre, où l'on procède à des observations de géodésie spatiales (VLBI, laser Lune, laser satellite, GNSS, DORIS). Les axes et plans de ce repère ne sont pas définis explicitement (en particulier le méridien origine n'est pas défini par la verticale d'un lieu) mais ce sont les coordonnées des stations déterminées à partir des observations et des calculs périodiques qui le définissent de manière implicite : c'est ce qui est appelé réalisations de l'ITRS et nommé ITRFnnnn (nnnn étant l'année de la réalisation). Le méridien origine est proche du Méridien de Greenwich. Le méridien origine est le plan XOZ, et donc pour étudier la position du méridien nous allons transformer les coordonnées de points de coordonnée Y=0.

On voit (*Tableau 1*) qu'à chaque réalisation le méridien origine ITRF bouge

un peu, quelques centimètres pour les premières réalisations pour tendre vers 1 millimètre actuellement. On voit aussi que si le méridien ne se déplace pas parallèlement au début, ce n'est plus le cas dans les dernières réalisations. Ce dernier effet dépend de la stratégie adoptée pour les calculs.

Maintenant intéressons-nous à l'ETRS (*European Terrestrial Reference System*). Ce système, adopté pour l'Europe est déduit du premier, et défini de telle sorte qu'il suit dans son mouvement la partie stable de la plaque tectonique eurasiennne. L'ETRS coïncidait exactement à ITRF à l'époque 1989,0.

Le *tableau 2* montre que le méridien origine ETRF n'est pas confondu avec celui de ITRF et s'écarte de plus en plus mais qu'il varie peu dans les différentes réalisations ETRF (1,5 cm entre ETRF89 et ETRF2000).

Par définition le méridien de l'ITRF, est mobile par rapport au sol et ce ne serait pas opportun de le matérialiser précisément. Si on veut matérialiser un méridien origine au centimètre, on peut le faire pour le méridien origine de ETRS89, en France on pourra même le faire en longitude RGF93 puisque celui-ci est entièrement compatible avec ETRS89. Par chance ce méridien est bien sur la partie stable de l'Europe, s'il

passait par l'Italie ou la Grèce la matérialisation précise deviendrait vite obsolète. On n'a pas abordé dans cet article l'aspect origine du temps, mais on peut dire que l'évolution a été similaire. Longtemps utilisée, l'heure solaire basée sur le passage du soleil au méridien d'un lieu, a été remplacée par l'heure civile car l'heure solaire n'était pas uniforme. L'heure civile de Greenwich (GMT) est devenue temps universel, et on a défini l'heure légale à l'aide de fuseaux horaires pour utiliser la même heure dans un pays, voire un continent. Depuis les années 50 le temps atomique a remplacé le temps solaire et ce sont des horloges atomiques réparties sur Terre qui réalisent le temps universel.

En conclusion, le vieux méridien de Greenwich n'a pas bougé, mais il n'est pas le méridien origine des longitudes déterminées par GNSS. Grâce aux satellites on peut se positionner sur Terre de plus en plus rapidement, facilement et précisément. Par contre les concepts à mettre en œuvre sont plus abstraits et plus complexes. ●

Contact

Françoise DUQUENNE
contact.fduquenne@gmail.com

Références

- [1] Malys S. *Why the Greenwich meridian moved* - Journal of Geodesy-Springer- DOI 10.1007/s00190-015-0844-y
- [2] Le Guet F. & al - *l'inventaire et le patrimoine de l'astronomie : l'exemple des méridiens et de leurs abris* - <http://insitu.revues.org/9177>
- [3] Vincent R - *Greenwich or not Greenwich* - XYZ n°120 page 52-54, septembre 2009

Tableau 2. Position du méridien origine ITRF89 dans les différentes réalisations pour la même époque (2000,0)

Latitude (°)	Y ITRF89 mètres	Y ITRF93 mètres	Y ITRF97 mètres	Y ITRF2000 mètres	Y ITRF2005 mètres	Y ITRF2008 mètres
48	0	- 0.005	- 0.036	- 0.042	- 0.042	- 0.040
45	0	+ 0.007	- 0.036	- 0.042	- 0.041	- 0.040
42	0	+ 0.009	- 0.036	- 0.042	- 0.041	- 0.041
0	0	+ 0.047	- 0.036	- 0.042	- 0.041	- 0.041

Époque	1989	2000	2015
Y ETRF89 (m)	0	0	0
Y ETRF2000 (m)	0	- 0.002	- 0.015
Y ITRF89 (m)	0	+ 0.200	+ 0.472

Tableau 3. Positions respectives entre les méridiens origine ETRF89 et ITRF89 pour différentes époques (latitude 48°)

ABSTRACT

The Greenwich meridian is considered to be the origin of longitudes. Yet on Google Earth or on the mobile phone the zero longitude is located over 100 meters east of the Airy Transit Circle, meridian from which it was defined. In this article we find the explanation: the Greenwich Meridian has not changed but it is not the origin of longitudes (WGS84, ITRF or RGF93).