

# Trois siècles de coopération franco-équatorienne en Géodésie

■ Claude BOUCHER

*L'ambassade de France en Équateur, dans le cadre des manifestations qu'elle a organisées pour célébrer les missions géodésiques envoyées par la France depuis trois siècles, a sollicité, à côté de l'Académie des sciences, la participation du Bureau des longitudes. Ce travail reflète une première étape des réflexions suscitées, et illustre la diversité et la multiplicité des implications du Bureau dans cette question. Le sujet retenu pour la présentation faite lors du colloque organisé à Quito les 25 et 26 mai 2016 est la présentation historique des travaux géodésiques réalisés dans un cadre conjoint entre l'Équateur et la France.*

## Le Bureau des longitudes

Le Bureau des longitudes (Bdl) a été institué par la loi du 7 Messidor An III (25 juin 1795) afin de résoudre les problèmes astronomiques que posait, à l'époque, la détermination de la longitude à la mer.

Il a tenu un rôle de premier plan dans l'organisation et le développement de l'astronomie en France, l'adoption du système métrique décimal, la réalisation d'éphémérides planétaires et lunaires, l'organisation de grandes expéditions scientifiques consacrées notamment à des mesures géodésiques et des observations astronomiques.

Il a participé à la création de plusieurs organismes scientifiques, tels que le Bureau international de l'heure (BIH, 1919), le Service international de la rotation de la Terre et des systèmes de référence (IERS, 1988) et le Groupe de recherche de géodésie spatiale (GRGS, 1971), dont il est membre fondateur.

Le Bureau est hébergé par l'Institut de France et entretient de fortes relations avec l'Académie des sciences.

En plus de sa mission régaliennne relative à la publication d'éphémérides (Annuaire, Connaissance des temps, Ephémérides nautiques), le Bureau organise diverses manifestations favorisant la diffusion de la connaissance scientifique (conférences mensuelles, journée scientifique annuelle...)

La géodésie est depuis toujours au cœur des sujets d'intérêt du Bureau des

longitudes. Plusieurs des publications récentes du Bureau y sont largement consacrées : *La géodésie. Bilan et perspectives* (2001), *Galileo. Un enjeu scientifique, stratégique et technique* (2007 2<sup>e</sup> ed), *Les références de temps et d'espace. Un panorama encyclopédique : histoire, présent et perspectives* (2016).

## La mission de l'Académie royale des sciences

Cet événement est à l'origine des célébrations auxquelles nous participons actuellement. La mission de l'Académie royale des sciences, dite au "Pérou" (arrivée en Équateur en 1736), fut décidée pour mesurer un arc de méridien proche de l'équateur, et le comparer à la mesure d'un arc proche du pôle, effectué par une mission envoyée en Laponie. Ces travaux avaient pour but de déterminer la forme de la Terre et son aplatissement, sujet qui était alors l'objet de controverses, entre les travaux théoriques de Newton et les mesures de terrain. En effet les mesures faites en France à cette époque, initiées par Picard et continuées par les Cassinis, n'étaient pas décisives, voire suggérant un aplatissement à l'équateur. Les premiers résultats issus de cette double mission, venant de Laponie, tranchèrent la question dans le sens d'un aplatissement aux pôles.

Je renvoie pour plus de détails à l'exposé de Jean-Paul Poirier, membre de

l'Académie des sciences et du Bureau des longitudes.

Le lecteur pourra également consulter utilement l'ouvrage de référence sur l'histoire de la géodésie française, de Jean-Jacques Levallois, correspondant de l'Académie des sciences et du Bureau des longitudes (Levallois 1988), ainsi que la publication de l'Académie des sciences à l'occasion du 250<sup>e</sup> anniversaire de ces missions (Lacombe et Costabel 1988).

## La mission du Service géographique de l'Armée

En 1889, l'Association géodésique internationale décida de lancer un appel à contribution international pour remesurer les réseaux réalisés par l'Académie des sciences de France plus d'un siècle auparavant. La France se proposa, quant à elle, de réaliser la partie équatoriale. Suite à une étude préalable, Henri Poincaré présenta en 1900 devant l'Académie des sciences un rapport précisant le projet. L'Académie en assurait la maîtrise d'ouvrage, tandis que la maîtrise d'œuvre en était confiée au Service géographique de l'Armée (SGA). L'Académie créa alors une commission *ad hoc* pour en assurer le suivi.

Les travaux de terrain se déroulèrent de 1900 à 1907 sous la direction du général Léon Bassot, par ailleurs membre du Bureau des longitudes, assisté du lieutenant Joseph Robert Emile Bourgeois, également membre du Bdl. Parmi les officiers du SGA qui participèrent à cette entreprise, il faut mentionner Georges Perrier, alors lieutenant d'artillerie, et futur Secrétaire général de l'Association internationale de géodésie. Ce géodésien, également membre du Bdl, participa notamment à l'ensemble des travaux de terrain.

La triangulation réalisée fut proche de celle des Académiciens (voir figure 2).



Figure 1. Georges Perrier



Elle comportait 3 bases et 3 stations de Laplace. Les travaux bénéficièrent d'un fort appui de la République de l'Équateur, mais connurent diverses vicissitudes tant en raison de conditions météorologiques, que d'insuffisances financières. (Voir notamment *Levallois 1988 et Schiavon 2006*).

Les résultats ont été diffusés à travers plusieurs publications de l'Académie des sciences. C'est Georges Perrier qui les coordonna. Si l'ensemble des mesures fut publié, seuls des résultats partiels le furent. Pierre Tardi, collaborateur de Georges Perrier, et également membre du Bureau, essaya de continuer l'exploitation des données. La dernière publication sur le sujet est parue en 1956 !

## La mission de l'Institut géographique national

Une étape moins connue se place dans un cadre commercial, à savoir un contrat entre l'Institut géographique national (IGN) français et l'Institut équatorien d'électricité (INCEL) signé en 1975 pour la réalisation d'une cartographie. On se reportera notamment à l'article récent de [Laignre et al, 2016].

Les travaux prévoyaient l'établissement d'un canevas géodésique de référence ainsi que des points de stéréopréparation. De plus il était prévu l'usage de stations de géodésie spatiale par méthode Doppler sur satellites Transit, une première à l'IGN, technique dans laquelle je fus d'ailleurs fortement impliqué.

Mais pour diverses raisons, les travaux géodésiques effectivement réalisés furent différents. Un réseau couvrant 400 km en extension nord-sud comportait 20 points primordiaux et 40 points complémentaires. Ce réseau fut essentiellement déterminé par trilatération, utilisant des stadimètres à ondes radio (telluromètres), complété de mesures azimutales par paires. Trois stations de Laplace complétèrent les mesures. Pour un rapport sur ce travail, voir [Guichard, 1975].

Par ailleurs, des travaux de nivellement furent également réalisés.

Comme dans les précédentes missions, les conditions de terrain furent difficiles. On pourra se reporter à [Laignre et al, 2016] pour divers témoignages et illustrations.

## Les coopérations en géodésie spatiale

L'apparition des satellites en 1957 a ouvert une ère fondamentalement nouvelle pour la géodésie, et provoqué l'émergence d'une nouvelle discipline, la géodésie spatiale ([Levallois, 1988], [Boucher, 2016]) et son apport décisif aux systèmes de référence, au champ de gravité, au positionnement et à la géodynamique.

Les techniques spatiales qui contribuent actuellement à la réalisation de réseaux et au positionnement sont la radio-interférométrie à longue base (VLBI), la télémétrie laser, et les techniques radioélectriques, GNSS et DORIS (voir [Boucher, 2016]).

Les aspects fondamentalement nouveaux apportés par la géodésie spatiale peuvent se résumer ainsi :

- La définition et la réalisation d'un système de référence terrestre global, géocentrique (ITRS) ;
- Universalisation de l'usage de GNSS pour le positionnement sous toutes ses formes ;
- La transition de réseaux géodésiques bidimensionnels vers des réseaux tridimensionnels.

Les concepts qui ont donné naissance à l'ITRS (*International Terrestrial Reference System*) furent développés dans le cadre d'institutions que j'ai mentionnées au début, à savoir le Bureau international de l'Heure (BIH) dans les années 80. C'est en effet dans le cadre du BIH, alors dirigé par Bernard Guinot, lui aussi membre du Bureau, que je développai le concept de réalisation d'un repère global obtenu par combinaison des techniques spatiales, travail qui fut développé et entretenu dans le service IERS créé en 1988. L'IERS a ainsi produit une succession de repères, réalisations primaires de l'ITRS, connus sous le nom ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*). La figure 3 ci-après montre le dernier en date, ITRF2014 :

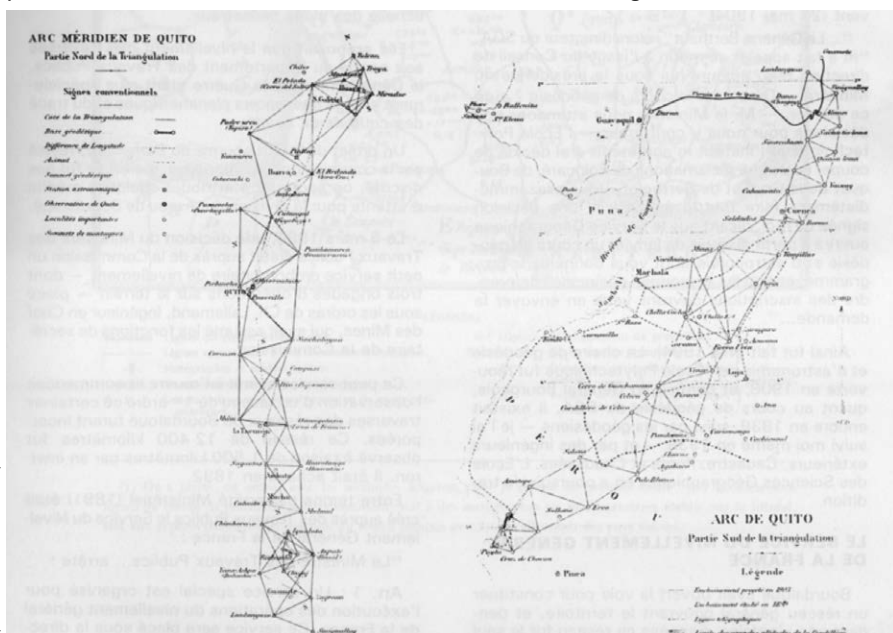
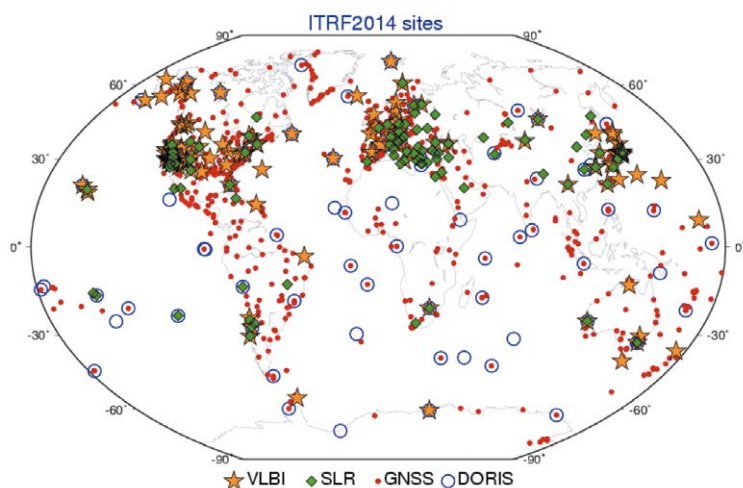


Figure 2. Schéma de la triangulation

(source : Levallois 1988)



## ITRF2014 Network



Source Z. Altamimi 2016

Figure 3. Réseau ITRF2014

Progressivement, et grâce à la disponibilité et le développement des systèmes GNSS, l'ITRS a vu se multiplier diverses réalisations, globales, telles que le repère du service IGS (International GNSS Service), régionales telles que le projet SIRGAS en Amérique du Sud, ou nationales, qui forment autant de densifications de l'ITRF.

C'est en particulier ce qui se développe en Équateur. Ceci dit, la notion de coopération reste fondamentale, à travers les diverses contributions nationales à ces projets internationaux. Ceci me donne l'occasion d'évoquer plus spécifiquement le système DORIS, initialement conçu et développé par la France (CNES et IGN), qui comporte en particulier un réseau global et homogène d'une cinquantaine de stations (cf. figure 4). DORIS est comme je l'ai déjà dit l'une des techniques qui contribuent à l'ITRF.

C'est ici encore une manifestation de cette longue coopération, à travers la station équatorienne dans les Îles Galapagos. Une première station fut établie en 1991, remplacée par une seconde en 2005, malheureusement en panne depuis 2009. Des négociations avec la fondation Charles Darwin devraient aboutir prochainement pour installer une nouvelle station sur ces îles dont la position géographique est stratégique pour le système DORIS, qui est désormais exploité dans le cadre du service international IDS.

### En conclusion

Cette présentation s'est efforcée de parcourir trois siècles de coopération en matière de géodésie, illustrant successivement les recherches pionnières sur la forme de la Terre, le développement de la coopération scientifique internatio-

nale, les développements commerciaux, et l'apport des techniques spatiales. De notre point de vue, nous avons eu la satisfaction de souligner que la plupart des principaux acteurs français appartiennent au Bureau des longitudes. Je peux affirmer que le Bureau souhaite continuer en ce sens, sous des formes qui restent à préciser. De nouvelles perspectives s'ouvrent d'ores et déjà dans de vastes domaines, les risques telluriques ou climatiques, pour ne citer qu'eux. ●

### Contact

Claude BOUCHER

Président du Bureau des longitudes

### Références

Boucher C. (2016) *Les références de temps et d'espace*. Un panorama encyclopédique : histoire, présent et perspectives. Hermann, Paris, à paraître 2016.

Guichard H. (1975) *Interprétation des observations géodésiques et application au cas de la mission IGN en Équateur*. Bull Info IGN 30, 1975.

Lacombe H., Costabel P. (1988), *La figure de la Terre du XVIII<sup>e</sup> siècle à l'ère spatiale*, Académie des Sciences, Gauthier-Villars, Paris, 1988.

Laigre J.-Y., Rond B., Vallée P., Marcel D., Le Pape M., Duquenne F. (2016) *La mission géodésique IGN en Équateur 1974-1976*. XYZ 146 15-26, 2016.

Levallois J.-J. (1988) *Mesurer la Terre. 300 ans de géodésie française*, Presse de l'ENPC.

Schiavon M. (2006) *Les officiers géodésiens du service géographique de l'armée et la mesure de l'arc de méridien de Quito (1901-1906)*. Histoire et mesure XXI-2, 2006.



Figure 4. Réseau DORIS



Figure 5. Station DORIS aux Galapagos