Les officiers géodésiens du Service géographique de l'armée et la mesure de l'arc de méridien de Quito (1901-1906)

The Geodesic Officers at the Army's Geographic Service and the Measurement of the Quito Meridian's Arc (1901-1906)

Martina Schiavon

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/histoiremesure/1746>

DOI : 10.4000/histoiremesure.1746

ISSN : 1957-7745

Éditeur

Éditions de l'EHESS

Édition imprimée

Date de publication : 1 décembre 2006

Pagination : 55-94

ISBN : 2-7132-2095-5

ISSN : 0982-1783

Référence électronique

Martina Schiavon, « Les officiers géodésiens du Service géographique de l'armée et la mesure de l'arc de méridien de Quito (1901-1906) », *Histoire & mesure* [En ligne], XXI - 2 | 2006, mis en ligne le 01 décembre 2009, consulté le 03 juin 2022. URL : <http://journals.openedition.org/histoiremesure/1746> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/histoiremesure.1746>

Martina Schiavon *

Les officiers géodésiens du Service géographique de l'armée et la mesure de l'arc de méridien de Quito (1901-1906)

Résumé. Dans un contexte composé d'acteurs, de lieux et de pratiques, il existe en France, vers 1900, des liens forts entre la constitution d'une culture scientifique de la précision et le monde militaire. C'est le cas dans le domaine de la géodésie. Entre 1901 et 1906, la France envoie une mission militaire à but essentiellement scientifique organisée par le général Léon Bassot et le lieutenant Robert Émile Bourgeois, de la section de géodésie du Service géographique de l'armée, pour mesurer un arc d'un méridien terrestre en Amérique du Sud, en Colombie, Équateur et Pérou. Avec l'appui du mathématicien Henri Poincaré, la mission mène, non sans difficultés, à bien sa tâche et assure des retombées scientifiques et non scientifiques.

Abstract. The Geodesic Officers at the Army's Geographic Service and the Measurement of the Quito Meridian's Arc (1901-1906).

In a context of actors, places and practices, there were in France, around 1900, strong links between the building of a scientific culture and the military world. It is the case in the field of geodesy. Between 1901-1906, France sent a scientific military mission organized by General Leon Bassot and lieutenant Robert Emile Bourgeois, officers of the geodesy department of the geographical Service of the army in order to measure a terrestrial arc of meridian line in South America (Colombia, Ecuador and Peru). Backed by the mathematician Henri Poincaré and in spite of many difficulties, the mission was a success and brought non-scientific and scientific spin offs.

* Via G. Zanon, 86, 35 133, Padova — Italie. E-mail : martina.schiavon@libero.it

Cet article étudie une opération typique de la géodésie du début du ^{xx}^e siècle : la mesure d'un arc de méridien terrestre ¹. Autour d'elle s'entrelacent alors les mondes des savants, des militaires et des fabricants d'instruments de précision ².

Il existe désormais de nombreuses études consacrées aux voyages et aux expéditions militaro-scientifiques pendant le siècle des Lumières ³, aux sciences de terrain ⁴, ou encore aux officiers de la Marine ⁵ et aux *savants* ⁶ — par savant, nous entendons le scientifique *et* l'intellectuel ⁷. Mais ces études n'ont encore que très rarement pris en compte le rôle de la géodésie dans la colonisation et l'élaboration des sciences de terrain. Pourtant, bien que l'objet de cette discipline soit la mesure de la Terre en relation avec le ciel, la géodésie se fait d'abord sur le terrain ; elle utilise en particulier des mesures très précises de longueurs et l'observation de signaux. En quoi consiste le travail géodésique au début du ^{xx}^e siècle ? Comment s'organise-t-il dans la pratique ? Notre propos est, ici, de montrer que l'opération de mesure d'arc constitue une manière particulière de « faire science » — dans

1. Un arc de méridien est un segment de méridien, cercle imaginaire passant par les deux pôles terrestres. L'arc est mesuré indirectement par triangulation : entre deux extrémités du segment de méridien, on construit une chaîne de triangles. Grâce aux observations astronomiques, on obtient l'orientation des triangles et l'amplitude de l'arc. Les méthodes de trigonométrie permettent alors de calculer la longueur des projections des côtés des triangles sur le méridien ; la somme de ces côtés donne sa longueur (SCHIAVON, M., 2003a, vol. 1, ch. 1).

2. Pour cette étude, nous avons dépouillé plusieurs fonds d'archives et des bibliothèques militaires et scientifiques à Paris : Archives nationales (AN), archives de l'Académie des sciences (AS), archives et bibliothèque de l'École polytechnique, archives et bibliothèque du Service historique de l'armée de Terre (SHAT), archives du Centre de documentation de l'Institut géographique national (IGN, héritier du Service géographique de l'armée), bibliothèque du commandement, de la doctrine et de l'enseignement militaire supérieur de l'armée de Terre, Bibliothèque nationale de France (fonds de la Société de géographie), bibliothèque et archives de l'observatoire de Paris.

3. Notamment M.-N. BOURGUET & C. LICOPPE, 1997 ; BOURGUET, M.-N. & *al.* (éd.), 1998 ; BOURGUET, M.-N., 2002 ; BOURGUET, M.-N. & *al.*, 2002.

4. Par exemple, H. KUKLICK & R. KOHLER, 1996, vol. 11 ; BOURGUET, M.-N. & Licoppe, C., 1997 ; RAJ, K., 1997 ; PANG, A., 2002.

5. BLAIS, H., 2005 ; PYENSON, L., 1985, 1988 et 1993.

6. Par exemple l'étude de David Aubin sur Jules Janssen, qui montre que l'astrospectroscopie joue un rôle important, à la fin du ^{xix}^e siècle, dans la coordination des transitions qui affectent trois lieux de production du savoir : l'observatoire, le laboratoire et le terrain des expéditions scientifiques (AUBIN, D., 2002) ; voir également J.-C. BOURQUIN, 1993.

7. À la fin du ^{xix}^e siècle, le savant est celui qui contribue à la transformation de l'ordre social grâce à la science et à l'action politique et sociale ; après 1950, ce mot laisse plutôt la place à celui de « scientifique », ce qui traduit le déclin de l'universalisme scientifique et la montée des spécialisations disciplinaires, la domination des sciences pures et expérimentales sur les disciplines littéraires et juridiques (PESTRE, D., 1997 ; DUCLERT, V., 1994).

le sens de construire le savoir scientifique ⁸ — où l'on opère en dehors du laboratoire ⁹, dans des conditions qui obligent, souvent, à repenser la mesure scientifique elle-même.

Par ailleurs, les études consacrées aux voyages et aux sciences de terrain ont surtout montré comment les sciences fondamentales, spécialement la physique et l'astronomie, ont servi les ambitions impérialistes de la France ¹⁰. Notre approche est plus locale et envisage des acteurs différents, en particulier les officiers militaires — qu'ils soient, statutairement, des officiers ou des ingénieurs ¹¹. Pourquoi se sont-ils engagés dans une opération scientifique telle qu'une mesure d'arc de méridien ? Cette participation influença-t-elle leurs carrières ? Son sens dépasse les questions des conquêtes militaires et du colonialisme. Les officiers géodésiens furent plus que des exécutants de tâches imparties par les scientifiques. Leur travail militaire servit à marquer une présence technique et culturelle sur un territoire, projet auquel participaient également les scientifiques. En outre, les officiers géodésiens jouèrent un rôle important d'intermédiaires entre le monde scientifique et académique, celui des fabricants d'instruments de précision et le gouvernement.

Cette histoire se déroule principalement sur trois scènes : l'Association internationale de géodésie, différentes institutions parisiennes — telles que l'Académie des sciences ou la Société française d'astronomie — et enfin l'Amérique du Sud, dans les nouvelles républiques du Pérou, de l'Équateur et de Colombie.

8. Voir en particulier T. LENOIR, 1997.

9. Par ce mot, nous ne désignons pas un laboratoire spécifique, mais plus généralement un endroit fermé dans lequel on étudie le fait expérimental dans des conditions contrôlées de température, pression, etc. Par ailleurs, la notion de laboratoire est controversée à l'époque (SCHIAVON, M., 2003a, ch. 4 ; JAMES, F., 1987) ; sur les laboratoires scientifiques, voir par exemple B. LELONG, 1997 ; BLONDEL, C., 1998.

10. Selon Pyenson, les sciences fondamentales constituent l'observatoire idéal pour étudier comment le discours scientifique traverse les frontières linguistiques et culturelles, car elles résistent à la contamination idéologique des autres sphères scientifiques ; c'est pourquoi les acteurs principaux de l'expansion coloniale sont pour lui des physiciens et des astronomes (PYENSON, L., 1996). Sur ce sujet voir aussi A. RASMUSSEN, 1998 ; PALLADINO, P. & WORBOYS, M., 1993 et la réponse de L. PYENSON, 1993.

11. Sur les relations entre science et armée, voir P. BRET, 2002 ; *La recherche*, 2002.

1. Stuttgart, 1898 : l'Association internationale de géodésie

En 1898, les membres de l'Association internationale de géodésie ¹² conviennent de la nécessité de reprendre les opérations de mesure d'un arc de méridien sous deux latitudes extrêmes. En cette fin de siècle, la question de la forme de la Terre est encore d'actualité : il s'agit de calculer, à l'aide d'instruments très perfectionnés, les dimensions moyennes de l'ellipsoïde, notamment la valeur de son aplatissement. Deux nouvelles expéditions, une près du Pôle nord, l'autre au voisinage de l'équateur, doivent avoir lieu. Pour la seconde, Winston, le délégué des États-Unis, propose la candidature de son pays, sans partage avec un autre. Face à lui, les délégués français, notamment le général Léon Bassot (1841-1917), assisté du lieutenant Robert Émile Bourgeois (1857-1945), respectivement directeur et chef de la section de géodésie du Service géographique de l'armée ¹³, ainsi que l'astronome Hervé Faye (1814-1902), revendiquent pour la France une « priorité morale » en Amérique du Sud : n'est-ce pas elle qui, près de cent cinquante ans plus tôt, a entamé une mesure d'arc en Équateur ¹⁴ ?

Winston a invoqué des considérations strictement scientifiques, mais elles ne sont pas les seules à jouer. La mesure d'un arc de méridien est, au début du xx^e siècle, à la base de toute cartographie, indispensable pour établir un réseau de communication — donc de commerce. Ce dernier, à son tour, a également besoin d'une normalisation de l'heure, pour les transports. Il s'agit en tout cas d'un processus lent, qui demande beaucoup d'investissements pour un État. Or, à cette époque, la situation des riches ex-colonies espagnoles est assez troublée. Les États-Unis, comme les puissances européennes, souhaitent y accroître leur influence. Dès 1882, leur gouvernement avait proposé aux représentants des nouvelles républiques sud-américaines la détermination d'un long arc de méridien qui, couvrant les deux continents, aurait servi d'origine commune pour y unifier l'heure. Mais ce fut en vain. Il est vrai que l'économie sud-américaine ne reposait, alors, que peu sur le

12. Née en 1864 sous le nom de *Mittel-Europäische Gradmessung*, la confédération devient, en 1887, Association internationale de géodésie.

13. Sur le Service géographique de l'armée de sa création aux années 1930, voir M. SCHIAVON, 2003a, chap. 1-2 et vol. 2.

14. Au XVIII^e siècle, ces mesures sous deux latitudes extrêmes furent réalisées par l'Académie des sciences française : Maupertuis, Camus, Clairaut et Lemonnier mesurèrent un arc en Laponie, près du Pôle nord, tandis que Bouguer, La Condamine et Godin portaient au Pérou (alors colonie espagnole comprenant les actuels Pérou, Équateur et Colombie). Sur ces mesures d'arc, voir R. TATON, 1988 ; LAFUENTE, A., 1988 ; LAFUENTE, A. & PÉSET, J. L., 1984 ; LAFUENTE, A. & DELGADO, A. J., 1984 ; LAFUENTE, A. & MAZUECOS, A., 1987.

commerce extérieur ; jusqu'au milieu du XIX^e siècle, dans les Andes, les matières premières et les produits agricoles circulaient principalement sur le bât des mulets, des chevaux ou des bœufs. Il est facile de penser que, dans ces conditions, le temps a bien peu d'importance. Mais la situation change à la fin du siècle. Ainsi, la Colombie commence, dès 1875, une exploitation intensive du café, qui supprime rapidement les productions traditionnelles (tabac et quinine). Vers la fin du siècle, son exportation constitue la moitié du commerce extérieur, d'où une forte motivation pour améliorer les transports des zones de production, sur les *altiplanos* des Andes, à la côte.

S'y ajoute la réalisation d'un canal à Panama. Le représentant américain dissimule ici l'enjeu stratégique d'une mesure d'arc : en 1898, la concession pour réaliser les travaux du canal avait été achetée par les États-Unis. Le gouvernement américain avait alors pris conscience de l'importance stratégique de la liaison entre océans Atlantique et Pacifique. Cette importance était aussi militaire : peu avant le rachat de la concession, pendant le conflit hispano-américain, les troupes nord-américaines avaient dû attendre 67 jours que leur flotte réalisât la circumnavigation du continent sud-américain depuis San Francisco jusqu'à Cuba. À partir de 1898, les États-Unis avaient, par conséquent, entamé des négociations avec la Colombie — dont Panama faisait alors partie — pour l'exploitation de l'affaire, mais sans succès. Il est ainsi possible que le projet d'une mesure d'arc de méridien en Amérique du Sud ait été motivé par le désir d'influence des États-Unis. En effet, aller mesurer un arc de méridien dans un pays étranger constitue un moyen pacifique de créer des contacts et des zones d'influences commerciales et politiques. De plus, le fait qu'une association scientifique internationale appuie le projet octroie une sorte d'autorisation implicite, au-dessus de tout intérêt particulier, pour assurer cette influence : car, on va le voir, mesurer un arc de méridien implique de légitimer une « mission militaire et d'étude » dans un territoire. Cette étude ne porte pas seulement sur son aspect strictement physique, mais surtout sur ses ressources, son administration, ses possibilités de communication et de transport, son commerce.

La réaction du général Bassot à la proposition de Winston est immédiate — et amène finalement ce dernier à reconnaître les droits de priorité de la France en Amérique. Bien évidemment, cette priorité « morale » constitue un prétexte, mais celui-ci a un certain poids dans une telle assemblée solennelle. Bassot, représentant assidu de la France au sein de l'Association internationale, n'ignore pas que mesurer un arc de méridien, c'est d'abord et surtout trianguler et dresser plus tard une carte précise, dont les nouvelles républiques de l'Équateur, du Pérou et de la Colombie ont sans

doute un besoin urgent. Et le faire serait utile à la France : au cours des opérations, il serait possible de développer une influence culturelle comme d'étendre un réseau télégraphique ou encore de créer des contacts commerciaux. De plus, aller en Amérique du Sud pour réaliser une mesure d'arc de méridien ne pourrait qu'accélérer la carrière des officiers géodésiens. Bassot n'avait-il pas déjà joui du soutien de l'Académie des sciences pour l'avancement de sa carrière militaire et pour l'obtention de la direction du Service géographique ¹⁵ ?

La présence d'officiers militaires au sein d'une association scientifique internationale ne doit pas surprendre : au début du ^{xx}^e siècle, les travaux géodésiques sont devenus l'apanage presque exclusif de services organisés militairement, relevant soit de l'armée de Terre, soit de la Marine. En effet, la publication des cartes, terrestres ou marines, est nécessaire à la préparation à la guerre. Puisqu'un réseau de points déterminés par les méthodes de la géodésie est le canevas indispensable de toute carte exacte, la topographie et la cartographie dépendent de la géodésie : toute armée doit donc avoir en son sein un service technique spécialisé en géodésie. De plus, tout travail géodésique, avant de devenir travail de calcul ou d'analyse scientifique, implique une forme de colonisation d'un territoire : il faut travailler en dehors d'un laboratoire ou d'un observatoire, dans des conditions non maîtrisées et des régions incomplètement pacifiées, ce qui justifie l'implication des militaires. Peu importe que le pays où les mesures se réalisent ne soit pas une vraie colonie, comme l'Équateur pour la France. Il s'agit pour les officiers de s'exercer aux mesures de haute précision sur des terrains inconnus, d'adapter leurs instruments à ces conditions spécifiques d'usage, et aussi de créer d'étroits contacts commerciaux et de diffuser la civilisation française. Une mission géodésique est une sorte de « conquête sans armes » d'un territoire, une forme d'appropriation de celui-ci, sous son aspect physique, commercial et culturel.

Pendant cette assemblée de l'Association internationale de géodésie, diverses personnalités scientifiques et militaires nouent des contacts et, surtout, testent la manière dont une idée est reçue par les autres membres. Le projet d'arriver à une uniformité des mesures et des méthodes, affirmé par les statuts et par les membres de l'Association, reste une grande aspiration. Mais, dans la pratique, il s'agit surtout de promouvoir, partout dans le monde, des opérations militaro-scientifiques. Dans le cas de la mesure d'un

15. Voir M. SCHIAVON, 2003a, chap. 1.

arc de méridien en Amérique du Sud, même si les textes officiels ne le disent pas explicitement, il s'agit surtout de créer de nouvelles sphères d'influence politique, commerciale et culturelle. Il est donc important de comprendre comment ces argumentations peuvent se marier à des questions strictement scientifiques, celles qui sont officiellement traitées par les membres de l'Association.

2. Les préparatifs à Paris

Une fois l'accord des membres de l'Association obtenu pour que la France réalise, seule, une mesure d'arc en Amérique du Sud, Bassot doit agir vite. Il compte, en effet, profiter du mandat présidentiel du général Eloy Alfaro (1842-1912), un admirateur de l'organisation militaire française¹⁶. Dès que l'avis de l'Association est connu, Bassot envoie deux capitaines du Service géographique en Équateur pour une brève mission de « reconnaissance ». Elle est en partie financée par le ministère de l'Instruction publique (25 000 francs) et en partie par Alfaro (15 000 francs), qui exprime ainsi son bon accueil aux géodésiens français. Le projet de Bassot est d'abord de convaincre le gouvernement que les opérations sont réalisables et, dans un deuxième temps, d'approcher les académiciens afin qu'ils désignent les officiers du Service géographique pour l'exécution des travaux sur le terrain.

Préparatifs matériels

Une mission de « reconnaissance » est surtout une évaluation des possibilités « logistiques » du territoire : les voies de communication, de transport, la possibilité de trouver de la main-d'œuvre, les ressources en eau et en aliments des régions à trianguler, les conditions climatiques (pour déterminer l'époque favorable aux observations), la localisation des principales stations d'observation et des terrains pour la mesure des bases, l'installation optimale des observatoires astronomiques.

Partis de Bordeaux le 16 mai 1898, les deux capitaines arrivent au port de Guayaquil, le 28 juin 1898. Ils parcourent ensuite 3 500 km en quatre mois. Ils reviennent à Paris avec un projet de triangulation du territoire qui correspond à 6° de longueur de méridien : cela représente un vaste espace, qui s'étend depuis Cerro de Pasto, à l'extrême sud de la Colombie, jusqu'au nord du Pérou, donc principalement sur le territoire de l'Équateur (Cf. Figure 1). Le schéma de reconnaissance suit dans l'ensemble la chaîne

16. PYENSON, L., 1987.

Figure 1. Arc de méridien de Quito (projet)

Source : POINCARÉ, H., 1900, plaque p. 220.

de triangulation des académiciens du XVIII^e siècle et s'appuie sur trois bases : Cumbal au Nord (Colombie), Riobamba au Centre (Équateur), Quiroz au Sud (Pérou). Les officiers du Service choisissent 52 stations pour la mesure des angles azimutaux et zénithaux, dont 28 sont les mêmes que celles de l'ancienne méridienne, trois mesures de latitude à Quito et six le long de la chaîne, sept ou huit mesures de l'intensité et de la direction de la pesanteur dans le voisinage des massifs du Chimborazo (6 310 m), de Cotopaxi (5 943 m) et d'Antisana (5 943 m), avec détermination des éléments magnétiques — déclinaison et inclinaison — et étude géologique. Ils désignent trois stations astronomiques fondamentales — deux aux extrémités de la chaîne et une à Quito — où l'on doit déterminer la latitude, l'azimut et la longitude avec les méthodes et les techniques employées au Service géographique de l'armée ¹⁷.

Ils prévoient l'emploi de six officiers, dont deux au moins devront être exercés aux observations astronomiques. Le personnel secondaire doit comprendre des officiers du Génie stagiaires, un mécanicien de précision du Service géographique, six sapeurs du Génie expérimentés dans les opérations de télégraphie optique et électrique et un médecin. En raison de l'aspect physique du territoire, constitué par les deux Cordillères des Andes, à peu près parallèles entre elles du Nord au Sud, depuis la Colombie jusqu'au Pérou, les militaires doivent se répartir en deux équipes qui parcourront les deux versants montagneux en même temps. Les deux capitaines ont prévu six mois pour réaliser la totalité des mesures des bases, neuf mois pour celle des angles et six mois pour les mesures d'astronomie fondamentale. Or les observations ne pourront avoir lieu que pendant une période limitée de l'année, d'où une durée totale prévue de quatre ans. Les capitaines prévoient enfin, pour chaque officier, un salaire de 833,33 francs mensuel et une indemnité de campagne de 208,33 francs ¹⁸.

Ainsi, l'opération de reconnaissance militaire du territoire prend en compte non seulement l'aspect scientifique des mesures, mais aussi leur dimension financière et technique : il s'agit d'une analyse générale de l'organisation des opérations de terrain, qui doit permettre d'obtenir des résultats optimaux.

Les préparatifs de la mission demandent beaucoup de temps, pour résoudre la question des financements et pour décider qui en seront les

17. SCHIAVON, M., 2003a, chap. 1.

18. Rapport de MAURAIN & LACOMBE, ca. 1900, AN, F 17 13 062.

acteurs. En effet, s'il est admis que ce sont des militaires qui iront en Équateur, il reste à décider de quel corps ils seront issus et qui les accompagnera — pour une mission qui engage l'honneur scientifique de la France.

En avril 1899, le ministre de l'Instruction publique demande à Alphonse Milne-Edwards (1835-1900), membre de l'Institut et vice-président de la Commission des missions et voyages scientifiques et littéraires du ministère, de lui désigner un naturaliste du Muséum d'histoire naturelle, qui sera affecté à la mission pour étudier les ressources minéralogiques et géologiques de l'Équateur. Il représentera aussi le ministère, qui contribue aux opérations par une somme de 20 000 francs ¹⁹. Par ailleurs, en janvier 1900, le ministre de l'Instruction publique sollicite, en urgence, la restitution de l'appareil de mesure des bases que le Service géographique a prêté, en 1895, à la Turquie ²⁰. La règle bimétallique constitue un instrument indispensable pour une mission géodésique : comme toujours avant une mission de cette importance, elle doit être remise en état et ré-étalonnée à Breteuil. Le fait que la règle soit apportée en Amérique du Sud a une valeur symbolique tout autant que pratique. L'officier français qui assure la livraison affirme :

« La règle de [mesure des] bases n'est plus un simple instrument géodésique, mais un instrument diplomatique, dont la présence est la raison d'être de la mission ». ²¹

En effet, depuis la Révolution française, la règle symbolise les intérêts spécifiques, sociaux, politiques et économiques de la France ²² : elle est à la base de toutes les mesures scientifiques et industrielles françaises, elle est la matérialisation du système métrique qui doit aller civiliser l'Amérique du Sud.

Le Congo ou l'Équateur ?

Le général Bassot fait ses preuves en résolvant les questions techniques et, surtout, en trouvant les financements nécessaires aux opérations. Il lui reste à convaincre ses confrères académiciens, consultés pour un avis scientifique par le ministre de l'Instruction publique, que la mission peut être exclusivement confiée aux officiers du Service géographique de l'armée. La tâche est difficile, car certains membres de l'Académie ne voient pas d'un bon œil cette mainmise des géodésiens militaires sur l'opération. Une commission est aussitôt créée au sein de l'Académie pour étudier la question. Le général Bassot prépare alors des contre-arguments.

19. LEYGUES, 25 avril 1899, AN, F 17 13 062.

20. LEYGUES, 5 janvier 1900, AN, F 17 13 062.

21. DEFFORGES, début 1900, AN, F 17 13 062.

22. Sur ces significations de la métrologie voir, pour le cas français, K. ALDER, 1995 et pour le cas anglais, S. SCHAFER, 1999.

Il craint que la commission ne conteste la destination de la mission. Est-il nécessaire d'aller en Amérique du Sud pour réaliser la mesure d'un arc près de la ligne équatoriale ? Pourquoi ne pas agir en sol français, par exemple au Congo ? Ce choix aurait sans doute permis d'obtenir plus facilement des crédits, par exemple auprès du ministère des Colonies. De plus, si l'objectif d'une mesure d'arc est seulement scientifique — déterminer la longueur d'un arc équatorial, comme l'affirment les textes officiels, et, éventuellement, exercer les officiers à dresser la carte d'un territoire inconnu —, aller au Congo plutôt qu'en Amérique du Sud ne fait guère de différence. Enfin, le Congo peut présenter un plus grand intérêt pour la France : alors que son exploitation comme colonie commence à peine, il est urgent de disposer d'une carte du pays, pour la construction d'un réseau de communications.

Bassot répond en détail à ces arguments, en soulignant trois aspects : l'engagement de l'honneur de la France vis-à-vis des États-Unis ; le fait que le territoire andin est mieux connu de la France, du fait de l'opération de reconnaissance qui vient d'être si rapidement achevée ; enfin, l'appel à une tradition de l'Académie ²³. À ce propos, Bassot insiste sur le fait que le territoire choisi doit se prêter parfaitement à une opération de haute science. Il ne lui est, en pratique, pas très difficile de convaincre les académiciens de choisir l'Amérique du Sud plutôt que le Congo, signe probable d'un accord de fond sur l'objectif de la mission — qui n'existe pas, en revanche, lorsqu'il s'agit de choisir ses responsables.

Pour souligner qu'aller en Équateur, c'est faire de la haute science, Bassot a rappelé à ses confrères que le président équatorien a mis à la disposition de la France l'observatoire astronomique de Quito. C'est là un atout indiscutable, lié à l'espoir d'installer un astronome français dans un observatoire qui est alors — on le sait bien à Paris — dépourvu d'hommes, mais complètement outillé, grâce à des instruments allemands abandonnés, d'une valeur totale de 60 000 francs ²⁴. Bassot semble ainsi suggérer à ses confrères que le choix de l'Équateur implique non seulement le rétablissement d'une hégémonie scientifique française dans ce pays, mais également la possibilité de disposer de ces instruments. Membre de la Société française d'astronomie, il savait sans doute que les astronomes français cherchaient constamment à installer des observatoires dans l'hémisphère Sud.

23. BASSOT, sans date (première moitié de 1900), dossier 1, AN, F 17 13 062.

24. PYENSON, L., 1987.

Le fait que le général Alfaro approuve l'arrivée d'un astronome français pour réorganiser l'observatoire de Quito est donc un facteur qui a pesé en faveur du choix de l'Équateur. Aussitôt l'Amérique du Sud choisie unanimement, l'Académie des sciences se hâte de trouver l'homme adéquat. Grâce à une donation du prince Roland Bonaparte (1853-1924) et de Raphaël Bischoffsheim (1823-1906), qui assurèrent sa rétribution et son installation ²⁵, François Gonnessiat (1856-1934), un aide astronome de 44 ans, chargé de cours à Lyon, est nommé astronome à Quito ²⁶.

Bassot, lui, doit encore convaincre les membres de l'Académie des sciences de donner l'exclusivité de la mission aux officiers du Service géographique. Ce n'est pas aussi simple. La précédente mission en Amérique du Sud, au XVIII^e siècle, avait été réalisée par des académiciens. Ce ne sont pourtant pas tellement eux, dans leur ensemble, qui s'opposent à Bassot, mais surtout un ingénieur hydrographe membre de l'Académie : Jean Jacques Bouquet de la Grye (1827-1909). Il considère que, si les officiers réalisent seuls la mission, ce sera une perte pour sa profession. Les hydrographes réalisent un travail de triangulation des côtes pour la Marine très similaire à celui que les géodésiens font sur terre. La concurrence est manifeste entre les deux corps. Face à la commission de l'Académie, Bouquet de la Grye choisit de s'inquiéter du rôle qui reviendrait à cette dernière si on donnait l'exclusivité des travaux au Service géographique :

« Celui qui consisterait uniquement à invoquer son patronage, en se bornant à lui faire part des résultats obtenus, [ce qui] n'est ni conforme aux précédents, ni à sa dignité ». ²⁷

À ce moment, Bassot a besoin d'arguments convaincants pour persuader les académiciens. Le temps le presse. À la fin de 1900, le président équatorien voit approcher le terme de son mandat. De plus, lors de la dernière assemblée de l'Association géodésique internationale, à Paris, la même année, le délégué nord-américain a fait voter le fait que si les Français n'achèvent pas la mission en Équateur, les États-Unis le feront ²⁸. Bassot fait alors intervenir un médiateur prestigieux : le mathématicien Henri Poincaré (1854-1912).

25. PERRIER, G., 1908.

26. PYENSON, L., 1987.

27. Bouquet de la Grye, 11/3/1900, AN, F 17 13 062.

28. PERRIER, G., 1908.

Henri Poincaré, médiateur pour la géodésie militaire

En 1900, l'autorité scientifique de Poincaré a depuis longtemps dépassé les frontières. Il n'est pas seulement connu comme mathématicien, mais aussi comme un passionné d'astronomie et de géodésie, qui s'intéresse de près aux variations de densité à l'intérieur de la Terre, discute la définition du méridien terrestre et propose des améliorations de mesures de triangulation²⁹. Pour lui, l'astronomie doit occuper une place importante dans « l'esprit humain tout entier »³⁰, le gouvernement doit soutenir la formation des « observateurs » et la géodésie constitue un bon exemple de transition entre sciences exactes et appliquées, un domaine où interviennent incertitudes, erreurs et probabilités.

Parmi les nombreuses publications de Poincaré sur la géodésie³¹, certaines montrent la part qu'il prit à la préparation de la mission en Amérique du Sud, par exemple son discours à la Société française d'astronomie, qui vise à en démontrer la pertinence. Poincaré souligne qu'une mission géodésique coûte cher à l'État ; mais « sans géodésie, pas de bonne carte ; sans bonne carte, pas de grands travaux publics »³². C'est pourquoi la géodésie fait partie des « grands travaux d'art » qui occasionnent longues études, tâtonnements, mécomptes et frais.

Poincaré explique ensuite que « l'avenir de la géodésie française est actuellement dans les mains du Service géographique de l'armée, dirigé par le général Bassot »³³. Les entreprises géodésiques se caractérisent par trois aspects, dont leur caractère national, qui efface l'individu. Au fond, il ne serait donc pas très important de savoir qui réalisera la mesure, mais plutôt dans quelles conditions l'opération aura la plus grande chance de succès. Deuxième aspect : l'importance des travaux de terrain, hors du laboratoire. En effet, selon Poincaré, le vrai but de la science est de découvrir — sur le terrain — l'harmonie qui gouverne la nature, et pour cela de rechercher l'accord entre une théorie et l'expérience :

« Isolée, la théorie serait vide, l'expérience serait myope : toutes deux seraient inutiles et sans intérêt ». ³⁴

29. Sur ce rôle de Poincaré, voir aussi M. SCHIAVON, 2002.

30. POINCARÉ, H., 1903.

31. DARWIN, 4 octobre 1900, AN F 17 13 062.

32. Les publications de Poincaré liées à la géodésie sont nombreuses. Il faut citer en particulier H. POINCARÉ, 1886, 1888, 1895, 1900b, 1903. Voir aussi ses rapports sur la mesure de l'arc de méridien : POINCARÉ, H., 1900a, 1902, 1903, 1904, 1905, 1907.

33. POINCARÉ, H., 1900b, p. 513.

34. POINCARÉ, H., 1900b, p. 516.

Or les militaires sont mieux préparés à ce type de science que les scientifiques. Poincaré ajoute en effet que la géodésie française, si brillante jusqu'au XVIII^e siècle, comme le montrent les entreprises réalisées par les académiciens, avait perdu son rang, au début du XIX^e siècle, face à l'Allemagne et à l'Angleterre. Mais elle aurait été sauvée grâce à un géodésien militaire, François Perrier (1833-1888), qui prolongea l'arc de méridien de France jusqu'en Algérie ³⁵.

Caractère national, expérience et aptitudes aux travaux scientifiques de terrain, résultats confirmés par des opérations à succès : ce sont là des arguments de poids au service de la thèse de Poincaré, selon laquelle les officiers géodésiens du Service géographique de l'armée devraient être choisis par le gouvernement français pour la mesure en Amérique du Sud. Dans ce discours, il utilise des mots qui incitent à la confrontation, à la défense d'une science française : cet esprit combatif n'est pas en contradiction avec l'esprit scientifique, comme si la science était un champ de bataille.

C'est aussi dans cette logique que Poincaré défend devant l'Académie des sciences la cause des militaires. Il y est plus explicite sur les garanties qu'ils offrent :

« Il faut être en état de supporter des grandes fatigues, dans des pays sans ressources et sous tous les climats ; il faut savoir conduire les hommes, obtenir l'obéissance de ses collaborateurs et l'imposer aux serviteurs à demi civilisés que l'on est bien forcé d'employer. Toutes ces qualités intellectuelles, morales et physiques se trouvent réunies chez les officiers de notre Service géographique. Enfin, il y a un corps qui est fait pour ce travail ; nous ne sommes pas sûrs de trouver aussi bien, nous sommes sûrs de ne pas trouver mieux. Et ce que nous n'aurions pas ailleurs, c'est la cohésion, l'habitude de travailler ensemble et d'appliquer les mêmes méthodes, la discipline, enfin, qui permettra de faire vite et sans tâtonnements ».³⁶

Selon Poincaré, le militaire, outre ses avantages scientifiques et économiques — il supporte de rudes privations pour une rémunération très modique —, représente « un véritable intérêt national ». En vantant sa fiabilité, il mêle science et armée, les qualités techniques, telles que la connaissance des méthodes de nivellement « géométrique de précision », et les « qualités morales ».

L'intervention de Poincaré en faveur de la géodésie et du Service géographique de l'armée a des ressorts multiples. La géodésie a, pour lui, un rôle pédagogique : elle initie à manipuler les instruments de précision, ce

35. SCHIAVON, M., 2003a, chap. 1.

36. POINCARÉ, H., 1900b, p. 215.

qui en fait une matière indispensable à la formation des officiers³⁷. Il souhaite aussi tirer de la mesure d'arc des informations qui l'aideront à vérifier ses spéculations scientifiques ; le mathématicien pense ainsi que des observations des oscillations du pendule, qu'il préconise en Amérique du Sud, sont le complément nécessaire de toute mesure géodésique. Devant les membres de la Société d'astronomie, il a expliqué qu'il n'y a pas d'intérêt en soi à découvrir une petite bosse sur l'ellipsoïde terrestre ; mais cette découverte devient précieuse si on en recherche la cause. Ainsi, le scientifique a l'espoir de pénétrer de nouveaux secrets de la nature : « si la Terre était aplatie, Newton triomphait et avec lui la doctrine de la gravitation et toute la mécanique céleste moderne. »³⁸

Doit-on comprendre que, pour lui, la géodésie pourrait aider à mettre en doute la validité générale des principes de la mécanique céleste newtonienne et, peut-être, introduire aux études que nous appelons aujourd'hui « de relativité restreinte » ? Poincaré sait que les lois de la mécanique établies par Newton, toujours valables dans leurs implications pratiques, cessent d'être tout à fait exactes dès que des mesures rigoureuses peuvent être réalisées sur le terrain. La géodésie, avec ses instruments très perfectionnés, étudie notamment la possibilité de « transporter le temps » d'un endroit à l'autre de la planète — par télégraphie optique ou par câble ou par télégraphie sans fil. Elle donne lieu, ainsi, à des expériences qui permettent de réfléchir sur la simultanéité de deux événements. Envisager ces liens de la géodésie avec la relativité imposerait une étude plus fine. Mais soulignons qu'ils justifient en partie l'intérêt que porte le mathématicien à la mesure d'un arc en Amérique du Sud : pour lui, la géodésie a encore beaucoup à dire sur la mécanique céleste.

Elle peut également donner des indications sur la formation de la Terre et sur son évolution. Poincaré reconsidère ainsi l'étude de Faye : par la géodésie, cet astronome voulait prouver que, dans les profondeurs et sous les océans, il existait des roches d'une très grande densité et que, sous les continents, il y avait au contraire des vides³⁹. En reprenant cet exemple, Poincaré affirme que la géodésie offre de nouvelles pistes pour une meilleure compréhension de l'attraction gravitationnelle et pour la connaissance de l'intérieur du globe. La répartition des roches profondes, situées sous un ou deux

37. Plus tard, de 1904 à 1908, il assure le cours d'astronomie et de géodésie de position de l'École polytechnique, qui risquait d'être supprimé (TARDI, P., 1940).

38. POINCARÉ, H., 1900b, p. 514.

39. SCHIAVON, M., 2007.

kilomètres d'épaisseur et que l'homme ne peut donc pas atteindre, peut exercer une attraction sur le pendule du géodésien et déformer ainsi la figure de la Terre. À partir d'une confrontation des données pendulaires et astronomiques, le géodésien peut donc conclure sur l'existence, à l'intérieur de la planète, de masses cachées. Ainsi, pense Poincaré, la géodésie, en tant que science qui lie les cieux à la Terre, pourra donner des renseignements d'un grand intérêt au mathématicien, à l'astronome, au physicien et au géologue, qui pourra fonder ses spéculations sur la constitution des couches intérieures de la Terre et sur l'origine de la planète ⁴⁰.

En 1901, Poincaré finit par convaincre les académiciens. Mais les géodésiens militaires n'obtiennent pas le contrôle complet de la mission : les académiciens consentent à ce qu'ils exécutent seuls les travaux sur le terrain, mais le contrôle scientifique est attribué à une commission d'académiciens, que Poincaré préside et dont le général Bassot est membre.

Cela ne représente pas pour autant une victoire de Bouquet de la Grye contre Bassot. La commission de l'Académie occupe surtout un rôle d'intermédiaire avec le gouvernement. Ce sont bien les militaires qui travaillent sur le terrain, qui adaptent les instruments à ses difficultés, qui font les mesures. Or il est toujours difficile d'exploiter une mesure scientifique, en particulier géodésique, réalisée par une autre personne ou un groupe de personnes. Par exemple, pour les observations optiques, le bon géodésien doit à la fois trouver le moment propice pour réaliser une observation de précision et éliminer les mauvaises observations. La part de l'observateur dans la mesure est donc très importante : lui seul peut juger si les conditions climatiques, la visibilité des signaux, la marche des instruments sont satisfaites. C'est également lui qui traite les données et tire les conclusions. Le scientifique resté à Paris ne peut, éventuellement, qu'exploiter son résultat. Il peut certes le critiquer, mais pas vraiment le juger, puisqu'il ne sait pas dans quelles conditions la mesure a été réalisée. Il ne peut pas non plus poser de veto quant aux choix techniques adoptés sur place en fonction des particularités du terrain. Ainsi, les géodésiens militaires furent les maîtres à bord d'un bout à l'autre de la mission.

40. POINCARÉ, H., 1900b, p. 514.

3. La mission en Amérique du Sud

Financée par le Parlement avec un crédit de 500 000 francs, à répartir sur quatre ans, la mission en Amérique du Sud prévoit toute une palette d'observations : pendulaires, astronomiques, météorologiques, pétrographiques, magnétiques, ethnographiques et anthropologiques. Tous les travaux de terrain sont organisés par Bassot et par le commandant Bourgeois, nommé chef technique de la mission. Les deux officiers doivent notamment faire préparer les instruments : cela inclut la mise en état de ceux dont le Service géographique dispose et la mise en fabrication des nouveaux, plus adaptés au terrain. Les problèmes relatifs aux calculs et aux observations astronomiques dans la région des Cordillères équatoriales sont examinés conjointement par Poincaré et Bassot.

La préparation du matériel représente un problème important : il faut en effet le répartir à l'avance dans des colis de poids et de dimensions limités, en prévision de son chargement, sur place, sur des animaux de bât de petite taille. La plus grande partie de la mission doit être réalisée en altitude, dans des régions isolées, le long de chemins praticables seulement à pied. Bassot et Bourgeois prévoient aussi qu'il sera impossible de réparer les instruments sur place : les officiers doivent emporter le nombre suffisant de pièces de rechange. Tout cela nécessite une véritable planification des envois. Embarqué en avril 1901, le matériel destiné à la mesure d'arc pèse 20 tonnes : il comprend l'outillage complet pour trois stations géodésiques et trois stations astronomiques équipées au cercle méridien, ainsi que l'appareil bimétallique des bases Brünner (*cf. infra*), ce dernier pesant à lui seul 3,6 tonnes.

Le 6 décembre 1900, la mission d'avant-garde embarque à Saint-Nazaire. Elle doit compléter autant que possible la reconnaissance de 1898, en particulier acheter les animaux de selle et de bât, afin que le gros de la mission, qui doit arriver en Équateur en 1901, à la fin de la saison des pluies, puisse commencer sans retard les opérations de terrain. Parmi les officiers affectés à la mission, citons le lieutenant d'artillerie Georges Perrier (1872-1946) et le médecin aide-major Paul Rivet (1876-1958), naturaliste nommé par le ministre de l'Instruction publique. Le personnel secondaire compte trente-quatre hommes, tous équipés pour camper dans les régions torrides du littoral comme sur les sommets glacés des Cordillères.

Mesure des bases et amélioration des instruments

Les officiers ont réalisé un travail scientifique important en améliorant méthodes et instruments pour les adapter aux besoins de terrain. Pour le

comprendre, il faut décrire précisément leurs pratiques. Pour la seule mesure d'une base, ils ont apporté 3,6 tonnes de matériel. Pourquoi la mesure d'une longueur est-elle, dans la pratique, une opération assez complexe pour mobiliser autant de matériel ?

Pour dessiner une carte, il faut procéder par étapes : sur le terrain, on commence par partager le territoire en une chaîne de grands triangles qui couvrent, en longueur, un arc de méridien. C'est la triangulation appelée « de premier ordre », en raison du rôle principal qu'elle joue dans les étapes suivantes. Elle est réalisée à partir d'une mesure de longueur en ligne droite, appelée base, sur laquelle on appuie un premier triangle, puis un deuxième, puis une série qui forme un réseau. Cette triangulation est réalisée avec des méthodes et des instruments d'une extrême précision. Les chaînes de premier ordre sont ensuite reliées par des réseaux de deuxième ordre qui couvrent toute la région où la carte est levée et qui sont réalisés avec des instruments moins précis, comme le théodolite ⁴¹.

Les bases sur lesquelles s'appuie la méridienne de Quito sont au nombre de trois : base centrale de Riobamba, base nord de San Gabriel (changée par rapport au projet de 1900) et base sud de Viviate (Payta, au Pérou). C'est au cours de la mission que les officiers confrontent les différents appareils envisagés pour les mesurer : appareil bimétallique à règle Brünner en platine et laiton, appareil Jäderin initial bimétallique en laiton et invar, appareil Jäderin modifié au Bureau international des poids et mesures, monométallique à fils invar et monométallique à règle invar.

La mesure de la longueur d'une base (généralement de quelques kilomètres) implique l'alignement successif de l'étalon (portée) le long de toute la base à mesurer. Comme étalon, on utilise une règle bimétallique ⁴² : les deux métaux servent notamment à déterminer avec précision la température ⁴³. Le degré de précision usuel en 1901 permettait également d'utiliser des thermomètres avec des règles monométalliques : à la fin du XIX^e siècle, une lutte s'était engagée entre les deux procédés.

Les officiers français préfèrent la règle bimétallique, car ils la trouvent plus précise ; de plus, elle permet d'étudier la dilatation du platine par rap-

41. SCHIAVON, M., 2003a, p. 40 et suivantes.

42. Ce dispositif, imaginé par Porro vers 1850, est une simplification de la règle bimétallique de Borda, qui date de la fin du XVIII^e siècle (*Catalogo...*, 1922).

43. Cette méthode (décrite dans les manuels de physique) est bien présentée dans *Catalogo...*, 1922.

port à un nouveau métal, l'invar, un acier à 30 % de nickel ⁴⁴. Tout appareil bimétallique comprend d'autres éléments essentiels, dont deux microscopes, qui permettent de rendre l'axe optique parfaitement vertical, ainsi que deux lunettes et un niveau, destinés à aligner rigoureusement les axes optiques des microscopes sur la ligne de base ou sur une parallèle à cette ligne. Cette procédure sert à mesurer l'inclinaison de la règle à chaque portée et à réduire à l'horizon la longueur de la portée : il est en effet important, une fois la mesure achevée, de faire coïncider l'axe optique du microscope d'arrivée (ou de départ, car l'opération de mesure comporte un aller et un retour le long de la base) avec la verticale du repère établi sur le sol. Pour cette opération, il faut apporter des porte-règles et des porte-microscopes métalliques, des trépieds, de lourdes semelles de bois — des patins servant d'appui ou de renfort — sur lesquelles ces trépieds reposent, des gabarits pour placer les divers organes de l'appareil à la distance voulue, des planchers transportables supportant les observateurs pour éviter que les mouvements du sol, causés par leurs pas, ne se communiquent à la règle et aux microscopes, des baraques pour préserver la règle des rayons du soleil et la soustraire aux brusques variations de température et à la pluie, etc. On peut ainsi imaginer la complexité d'une mesure de base, sans oublier que l'opération donne lieu à l'écriture de gros cahiers de chiffres, qu'il faut ensuite analyser.

L'estimation de la longueur d'une base nécessite donc un personnel spécialisé, pour les observations, et un personnel non spécialisé, plus nombreux, qui transporte sans cesse l'étalon d'arrière en avant, le long de toute la base à mesurer. À chaque portée, il faut en effet démolir, pour ainsi dire, les portées déjà faites, afin de préparer les suivantes. Le personnel spécialisé intervient surtout dans l'observation des points de jonction entre deux portées successives, qui doivent être vérifiés avec une précision extrême, notamment pour leur parfait alignement. Pendant la mesure des bases en Équateur, trois officiers interviennent : deux, disposés aux extrémités de l'étalon, pour vérifier l'alignement au microscope et le troisième, faisant fonction de directeur de la mesure, pour la lecture du niveau ⁴⁵.

Lors de la mesure d'arc en Amérique du Sud, les officiers testent la dilatation de différents métaux soumis à de fortes excursions thermiques, comme les variations de température entre le jour et la nuit dans la

44. Ce métal fut découvert par un français, le physicien Charles Guillaume, en 1895.

45. PERRIER, G., 1908, p. 387.

Cordillère. Théoriquement, le platine a une plus faible dilatation que le laiton : ils étudient sur le terrain cette dilatation, ainsi que la praticité de la section des lames et la mobilité des rouleaux sur lesquels elles glissent, afin de mieux définir les conditions optimales de progression sur le terrain. Ces sujets sont d'un grand intérêt pour les géodésiens. En outre, à cette époque, les officiers français sont opposés à l'introduction dans la pratique géodésique de la méthode du *Coast and Geodetic Survey* américain, qui a réalisé une mesure de base en plaçant la règle dans de la glace concassée ou râpée. Selon les Français, ce procédé complique les mesures et la manœuvre de l'appareil : ils veulent montrer qu'il n'est pas nécessaire.

Figure 2. Appareil Jäderin

Source : Galerie des instruments de L'IGN (photo de l'auteur).

Ils cherchent également des conditions de travail plus pratiques en se livrant à l'étude comparative d'autres instruments, comme l'appareil à fils de Jäderin ⁴⁶ (cf. Figure 2). Celui-ci comprend essentiellement deux fils de matériaux différents, aux extrémités desquels on accroche deux dynamomètres, qui mesurent leur tension, et dont l'alignement se fait avec des lunettes qu'on place sur des trépieds. Par rapport aux règles, les fils Jäderin constituent un matériel très simplifié et qui permet une plus grande rapidité de manœuvre sur le terrain, mais qui n'offre pas la même précision. Pourtant, la plupart de géodésiens préfèrent l'emploi des fils ; le Service géographique veut établir s'il doit être limité aux opérations géodésiques secondaires. Les fils sont ainsi comparés avec une règle monométallique,

46. L'appareil tire son nom d'un professeur de Stockholm qui, en 1885, avait utilisé, pour la mesure d'une base, des fils métalliques soumis à une tension constante.

ces deux appareils étant fabriqués en invar, dont la dilatation est encore plus faible que celle du platine. En effet, les propriétés du platine ne s'adaptent pas aux fils : à cause de sa forte densité, ce métal nécessiterait, en effet, une trop forte tension des fils. De plus, un fil a normalement un diamètre faible, ce qui le rend encore plus sensible que la règle aux variations de la température extérieure. En revanche, l'invar est très malléable, peu oxydable — ce qui le rend plus pratique que le platine, car il ne nécessite pas d'abris contre les pluies et l'humidité — et très économique : en 1900, son prix est cinq cents fois inférieur à celui du platine. Son emploi permettrait ainsi de remédier complètement aux inconvénients du platine employé sous forme de fil.

Les officiers établissent finalement que la mesure de la température est presque inutile avec des fils en invar : une erreur de 1° C dans la température du fil cause sur sa longueur une erreur environ 30 fois plus faible que celle du système bimétallique laiton-acier ⁴⁷. Ils fixent également les conditions générales d'utilisation de l'appareil à fils invar. Ces conclusions furent ensuite utilisées pour modifier les appareils : sur instructions des officiers, le fabricant d'instruments Jules Carpentier ⁴⁸ (1851-1921) change la forme et le mode d'attache des extrémités des fils primitifs et la façon dont on les met en tension. Ainsi les études de terrain revêtent-elles une grande importance dans le domaine de la géodésie, avec des conséquences très utiles à l'armée et à l'industrie.

À Riobamba, les officiers ont d'abord utilisé l'appareil bimétallique à règle Brünnner, puis l'appareil Jäderin bimétallique : cette comparaison est justifiée par la présence d'une bande de terrain plane, spécialement préparée à l'avance et presque sans obstacles. Lors de cette mesure, ils constatent que la méthode employant la règle ne s'adapte pas bien aux opérations de terrain : les observations au microscope fatiguent les officiers et le vent violent soulève, sur le plateau, des tourbillons de poussière aveuglante. Ce sable fin s'introduit aussi dans les appareils, obligeant le personnel à une surveillance continuelle et les officiers à des démontages fréquents. Perrier signale également qu'il faut retoucher périodiquement les micromètres. Malgré toutes les précautions prises pour les protéger et les sécher, on trouve, au matin, le fil d'araignée de l'oculaire détendu par la condensation de

47. .Rappelons qu'il est pourtant inutile de trop améliorer la précision dans la mesure d'une base quand les angles sont déterminés avec une erreur beaucoup plus grande. (Schiavon, M., 2003a, chap. 1

48. Sur Carpentier, voir P. BRENNI, 1997 ; BLONDEL, C., 1988.

l'humidité nocturne. Ce problème se retrouve constamment par la suite, quand les officiers opèrent en altitude.

L'expérience de Riobamba justifie en partie la décision du commandant Bourgeois de ne plus utiliser les microscopes pour la mesure des autres bases : à San Gabriel (Tulcan), seuls les fils Jäderin sont utilisés. En effet, ce plateau s'élève à 2 850 mètres et le terrain n'est pas propice à l'emploi de l'appareil Brünner, à cause de nombreuses pluies. De plus, les fils Jäderin n'imposent pas, comme la règle, un personnel nombreux pour les manœuvres (10 ou 12 ouvriers suffisent), et les mesures sont plus rapides et faciles, car elles ne nécessitent plus des alignements parfaitement plans. Enfin, le seul transport de l'appareil Brünner coûte trop cher en animaux et en porteurs.

À la fin de la mission, les officiers ont donc démontré les avantages des appareils à fils d'invar sur la règle : les fils permettent une mesure facile et rapide des longues bases, même en terrain assez difficile. « Faire science » signifie ainsi, entre autres, réaliser des mesures de précision avec des instruments qui doivent être adaptés aux spécificités du terrain.

Mesures d'angles et autres observations géodésiques

De telles modifications de procédés d'observation touchent d'autres mesures. Ainsi, pour l'observation des distances zénithales ⁴⁹, les officiers utilisent un théodolite. Si la distance zénithale est observée au zénith d'un astre, avec des tables astronomiques (celles des éphémérides, qui donnent la déclinaison à tout instant d'un astre ⁵⁰), au moment du passage de l'astre au méridien, on peut calculer directement la latitude : ces observations sont dites « méridiennes ». Mais si l'astre est observé quelque temps avant ou après son passage au méridien, on doit déduire la latitude en calculant la valeur que cette distance zénithale aurait eue au moment exact du passage : ces observations sont dites « circumméridiennes ». Ce calcul se fait facilement si l'on connaît le temps écoulé entre le passage au méridien et l'instant de l'observation. Il faut noter l'heure de l'observation sur un chronomètre de correction connue : il doit être exact, donc il faut le réguler à l'instant même de l'observation. L'opération comporte l'encadrement de l'instant d'observation entre deux déterminations de l'heure, qui se font en

49. La distance zénithale est la distance angulaire séparant un point de la sphère céleste — le point visé projeté sur cette sphère — du zénith, ce dernier étant le point de la sphère céleste situé sur la verticale ascendante de l'observateur (au-dessus de sa tête).

50. La déclinaison d'un astre est l'arc de méridien céleste compris entre un astre et l'équateur céleste.

observant la distance zénithale d'un astre connu ⁵¹ et en notant, au même instant, l'heure marquée par le chronomètre.

Sur le terrain, les observations méridiennes ont l'inconvénient d'exiger une orientation rigoureuse de l'instrument dans le méridien et ne peuvent se faire qu'à un instant précis, celui du passage de l'étoile au méridien. Mais les observations circumméridiennes demandent un supplément non négligeable d'observations et de calculs, ce qui augmente les causes d'erreurs. Les instruments sont en général conçus pour permettre de préférence l'application d'une des deux méthodes : c'est le cas du théodolite apporté en Équateur. Or les officiers géodésiens recherchent un instrument capable de réaliser les deux types d'observations. Des trois théodolites réalisés avant le départ de la mission par Alexandre Huetz, chef de l'atelier de précision de la section de géodésie du Service géographique, un seul fut mis en essai à Paris ⁵² : les officiers doivent expérimenter les autres directement sur place. Ils affirment que des modifications sont encore nécessaires et demandent les accessoires en France : ils attendent six mois pour les obtenir ⁵³. Pour adapter le théodolite Huetz aux observations circumméridiennes, ils doivent modifier l'oculaire à fils fixes et le remplacer par un oculaire astronomique à fil mobile et à tambour micrométrique. Le théodolite devient ainsi un instrument adapté aux observations géodésiques et astronomiques en tout genre.

Les adaptations ne s'arrêtent pas là : en effet, le théodolite est relativement léger et peut ainsi être transporté en altitude, mais, pour les observations de précision, les officiers doivent utiliser le cercle méridien, instrument de dimensions et de stabilité supérieures. L'emploi de plusieurs instruments d'observation complique les opérations de mesure, comme l'écrit Perrier :

« Le théodolite était installé dans la baraque d'observation démontable, sur l'unique pilier en briques ou pierres de la station, dont la construction a toujours coûté assez de peines pour que l'on ne songeât pas à en construire un second. Il y avait, en revanche, un ennui réel pour l'observateur, à la tombée de la nuit, dans l'obligation fréquente de substituer sur l'unique pilier le théodolite avec le cercle azimutal ⁵⁴. Il est certain que dans de pareilles expéditions, l'emploi d'un instru-

51. L'astre connu, qui corrige le chronomètre, est choisi en fonction de la précision que l'on cherche : on utilise des étoiles pour des déterminations très précises, tandis que pour les autres on peut se servir du Soleil, de la Lune ou des planètes.

52. Ministère de l'Instruction publique, 1910 (archives du Centre de Documentation de l'IGN).

53. POINCARÉ, H., 1904, p. 1013.

54. Le cercle méridien pouvait être séparé en deux parties : le cercle azimutal, servant pour l'observation des angles horizontaux entre deux stations, et son support (SCHIAVON, M., 2003a, chap. 1).

ment universel unique réalise une réelle simplification dans les transports et les observations ». ⁵⁵

C'est pourquoi les officiers remplacent ultérieurement le théodolite par un instrument plus précis : le cercle méridien Brünner portatif (*cf.* Figure 3). Dans cet instrument, on a supprimé le cercle horizontal : les cercles réitératifs sont mobiles autour d'un axe vertical et sont ainsi plus adaptés à la détermination des latitudes par la méthode circumméridienne ⁵⁶.

Figure 3. *Cercle méridien réitératif*

Source : Hall du Centre de documentation de l'IGN (photo de l'auteur). Diamètre : 0,42m.
Le cercle apporté en Équateur a des dimensions plus réduites (:diamètre 0,32m).

Même avec ces dimensions réduites, la manipulation du cercle méridien reste très difficile dans les Andes : la procédure d'obtention de la verticale s'avère particulièrement complexe sur le terrain et le transport de l'instrument, un peu encombrant, cause des frais et des pertes de temps considé-

55. PERRIER, G., 1908, p. 431.

56. Cet instrument est une modification du cercle méridien de François Perrier, officier géodésien qui introduisit dans la pratique géodésique la mesure dite de « réitération » (SCHIAVON, M., 2003a, chap. 1).

Figure 4. Astrolabe à prisme Driencourt-Claude (modèle de la maison Jobin)

Source : Galerie des instruments de l'IGN (photo de l'auteur).

rables. C'est pourquoi, en 1904, le capitaine Peyronnel apporte en Équateur un autre instrument, l'astrolabe à prisme, utilisé pour la détermination des latitudes et de l'heure. C'est une invention de l'astronome François Auguste Claude, attaché à l'observatoire du Bureau des longitudes à Montsouris, et de l'ingénieur hydrographe Ludovic Driencourt (1858-1940)⁵⁷ (cf. Figure 4). Déjà connu au Service géographique, l'astrolabe à prisme présentait pourtant des défauts dans la fabrication et le travail du verre formant le prisme. C'est seulement avec un prisme constitué d'un matériau bien homogène, à faces bien planes, à arêtes bien parallèles et à angles bien égaux qu'on obtient une précision suffisante dans l'appréciation de la coïncidence des deux images d'une même étoile. Encore une fois, l'apport des officiers pour résoudre cette question technique fut essentiel : en effet, ce sont eux qui contactent Amédée Jobin⁵⁸ (1861-1945), le fabricant d'instruments qui était parvenu à construire des prismes offrant un grand parallélisme des arêtes et une bonne égalité des angles (réalisés à 2'' près)⁵⁹. Avec ce prisme, on obtient une amélioration importante de la précision avec laquelle on détermine la latitude ; l'astrolabe est alors considéré d'une précision suffisante pour être utilisé pour la mesure d'arc. Son utilisation est particulièrement appréciée par les officiers en Amérique du Sud, car avec cet instrument, les observations sont rapides et

57. Sur l'astrolabe, voir F. CLAUDE & L. DRIENCOURT, 1907 ; JOBIN, A., 1906. Sur Claude : LÉVY, J., 1978 ; sur Driencourt : LE TOURNEUR, S., 1976.

58. Sur Jobin : BRENNI, P., 1996.

59. Ce fut probablement Bourgeois qui contacta Jobin : tous deux participaient aux séances de la Société française de physique, dont Bourgeois devint président en 1914.

offrent une précision de peu inférieure à celle du théodolite (0,3'' pour ce dernier) ⁶⁰. De plus, l'astrolabe n'a plus besoin de pilier ni de cabane d'observation : les mesures se font avec un simple pied à trois branches. L'astrolabe à prisme reste par la suite très utilisé dans toutes les opérations géodésiques.

Ainsi, les officiers géodésiens aspirent à obtenir un instrument qui se prête à toutes les observations de précision — un instrument universel —, mais qui soit aussi rapide, facile et pratique à utiliser sur le terrain. Leur apport à l'optimisation des techniques est donc essentiel. Ils sont des intermédiaires privilégiés entre le monde scientifique et celui des fabricants d'instruments de précision.

Des observations encyclopédiques

Deux mesures astronomiques de latitude, une à chaque extrémité de la chaîne, ne suffisent pas à Poincaré, qui en veut plus de cinquante, réparties tout au long de la chaîne : « ce n'est plus une mesure d'arc de méridien, mais une opération de nivellement astronomique », affirme l'inspecteur général géographe Pierre Tardi (1897-1972) en 1946 ⁶¹. De même, les mesures pendulaires, prévues tout au long de la chaîne, sont considérées par Poincaré comme le « complément nécessaire » aux mesures géodésiques et astronomiques de longitude et d'azimut. Dans un mémoire publié en 1901, il a montré qu'il existe des relations entre les données obtenues avec le pendule et les observations géodésiques, et que les premières doivent constituer un critère de contrôle des secondes ⁶². Sans ces observations, qui servent à calculer les déviations de la verticale dues à l'attraction des couches terrestres (à densité variable), le géodésien ne peut pas prendre en considération toutes les variables du problème et toutes les causes d'erreurs. Poincaré montre que la différence entre les longitudes — ou les azimuts — géodésique et astronomique ne dépend pas seulement des observations au point considéré, mais aussi des déviations calculées dans toutes les stations de la ligne de longitude ou d'azimut passant par ce point ⁶³. Il sollicite ainsi une étude de la variation de la pesanteur prévue sur de nombreuses stations de la chaîne, à partir du niveau de la mer déterminé à Payta, sur la côte du Pacifique. Les mesures pendulaires sont réalisées avec le pendule dit « rela-

60. PERRIER, G., 1908, p. 432.

61. TARDI, P., 1946.

62. POINCARÉ, H., 1901.

63. Voir le mémoire de Poincaré présenté par E. LEBON, « Leçons sur les hypothèses cosmogoniques » (dossier Poincaré, AS).

tif » du colonel Étienne-Gilbert Defforges, un instrument très difficile à transporter et à manipuler dans les stations de la région andine. En outre, les observations doivent se faire à température aussi constante que possible : le pendule et l'horloge doivent être placés dans une cave creusée dans le sol. Cette obligation a beaucoup compliqué l'installation, déjà délicate, des appareils : les stations sont situées dans des régions où manquent les matériaux (et les travailleurs) nécessaires pour la construction de la cave et des piliers. De ce fait, les officiers ne réalisent que six déterminations pendulaires, réparties pour constater les variations de la pesanteur depuis le littoral du Pacifique jusqu'au versant oriental des Andes ⁶⁴.

Les officiers géodésiens souhaitent également étudier la densité des roches, ce qui est utile pour l'étude de la variation de la verticale et celle des anomalies de la pesanteur. Ils recueillent des échantillons de pierres, ensuite analysés par Lacroix au Muséum d'histoire naturelle ⁶⁵. Outre leur intérêt proprement géologique, il est probable que ces données servent aussi à évaluer les ressources minéralogiques de l'Équateur, dans une perspective commerciale — mais celle-ci n'est jamais explicite dans les documents retrouvés.

Il est également question, pendant la mission, de météorologie, de magnétisme et d'études ethnographiques et anthropologiques. C'est Gonnessiat qui recueille les observations météorologiques et magnétiques à l'observatoire de Quito, mais ce sont les officiers qui les réalisent sur le terrain, dans tous les postes optiques et stations, trois fois, puis six fois par jour : lectures de pression, de température, observations du vent, de la pluie et de la nébulosité. Les officiers tiennent également un journal météorologique où sont enregistrées des données comme la température maximale et minimale. L'étude de la climatologie du pays doit beaucoup aux 901 journées d'observations ainsi fournies.

Les études de faune, flore et anthropologie sont conduites sous la direction du médecin aide-major Rivet. Il a recueilli un grand nombre de plantes et d'espèces rares des plateaux : dès 1904, il expédie en France de nombreuses caisses, bases d'expositions du Muséum d'histoire naturelle sur l'Équateur. Le public parisien peut ainsi apprécier l'importance et la valeur de la mission. Mais le vrai souci de Rivet est l'étude des populations indigènes, anciennes et contemporaines ⁶⁶. L'officier Perrier collabore avec lui

64. PERRIER, G., 1908, pp. 443-444.

65. PERRIER, G., 1908, p. 443-444.

66. RIVET, P., 1908.

pour un reportage photographique ⁶⁷. Rivet réalise aussi de nombreuses fouilles de tombes précolombiennes, sources de collections d'objets exposées au Musée d'ethnographie du Trocadéro ⁶⁸.

Cette grande variété d'observations est typique d'une mesure d'arc à cette période, mais correspond tout particulièrement à l'ambition des géographes. Les Congrès de géographie, qui ont lieu à partir de 1871, réunissent, en effet, explorateurs, ingénieurs, topographes, négociants, professeurs et officiers. Pour eux, il est fondamental de constituer une sorte de « base de données mondiale et encyclopédique, tournée tant vers la reconnaissance du domaine que vers son évolution » ⁶⁹. Dans le cas étudié ici, l'ambition des géodésiens militaires de trianguler et de niveler le territoire, leurs essais et modifications des instruments et des méthodes se sont parfaitement combinés avec la volonté de Poincaré, de Gonnessiat et de Rivet de tester ou construire leurs théories scientifiques, de la physique du globe à la valeur des territoires et jusqu'au « moral des races ». Ainsi, connaître le monde, pour le militaire comme pour le scientifique et l'homme politique, signifie surtout le dominer.

Les relations avec les Équatoriens

L'installation de l'astronome français à l'observatoire de Quito ne se passe pas comme l'avaient espéré les académiciens. À son arrivée, Gonnessiat trouve un lieu qui ressemble à un musée : les instruments allemands sont bien là, mais la plupart sont très détériorés par leur long abandon. Il faudrait un personnel spécialisé pour remettre l'observatoire en état.

Dans un premier temps, les officiers réalisent, par exemple, le calcul des différences des longitudes entre l'observatoire et certaines stations géodésiques. En contrepartie, Gonnessiat contribue aux travaux de la mission avec des tables de réfraction astronomique, indispensables pour les corrections à apporter au calcul des latitudes. Il effectue aussi des séries d'observations méridiennes de la Lune pour la détermination de la longitude de Quito, qui fait partie des objectifs de la mission, et organise d'autres observations liées à la physique du globe : météorologie, sismographie et magnétisme terrestre. Mais cet échange d'observations a ses limites. Lorsque les

67. Cette collection est conservée aux archives de la Société française de géographie (à la Bibliothèque nationale de France, section Cartes et Plans), dont Georges Perrier fut un membre important.

68. À son retour d'Amérique, Rivet devient responsable des collections rapportées d'Équateur. Il est un des fondateurs du laboratoire d'anthropologie du Muséum d'histoire naturelle (RIVET, P. & *al.*, 1935).

69. ROBIC, M.-C. & *al.* (dir.), 1996.

officiers s'éloignent des zones limitrophes de Quito pour s'installer dans les autres stations géodésiques, d'où ils continuent à envoyer des observations quotidiennes, Gonnessiat a besoin d'un personnel stable à l'observatoire pour traiter ces données. Il demande des aides au gouvernement équatorien, mais souhaiterait un Français pour les travaux plus scientifiques.

Or Alfaro est remplacé par le général Léonidas Plaza Gutiérrez (1865-1932), qui impose que tout le personnel de l'observatoire soit composé de fonctionnaires équatoriens ⁷⁰. Gonnessiat affirme que c'est impossible : la Faculté des sciences est fermée depuis cinq ans et l'enseignement scientifique est nul dans les collèges ⁷¹. Mais Plaza rétorque que le personnel peut se former directement à l'observatoire. Il fait geler l'argent destiné à l'organisation d'un pavillon magnétique et d'un service de sismographie. Il demande également à Bourgeois que des militaires équatoriens soient affectés à la mission, afin de les former aux travaux de géodésie. Alfaro avait déjà fait rattacher deux officiers équatoriens à la mission française, mais Bourgeois ne leur avait réservé que des corvées. Plaza veut qu'ils soient employés à des « travaux scientifiques », mais le commandant refuse, arguant de leur manque d'instruction ⁷².

Dans les négociations qui suivent, Gonnessiat se révèle plus efficace que Bourgeois. Dans ses lettres, il insiste sur l'importance de bons contacts avec le président, contacts qui sont inexistants du côté de la mission, notamment quand Bourgeois est en Équateur (1901). Ces liens sont cruciaux pour le financement de la mission. Celle-ci a, de plus, lieu au plus près des populations locales, dont les officiers dépendent pour l'installation sur leurs terres des bases, des stations, des signaux. Elles doivent fournir aux officiers un approvisionnement constant en matériel de construction, en aliments pour eux et pour les animaux. Or le gouvernement équatorien peut faciliter ces contacts. L'importance de cet enjeu est clairement perceptible dans les archives conservées, ainsi lors d'un épisode décrit comme « l'affaire du Chujuj » (du nom d'une région proche du Riobamba), lorsqu'un soldat français tue un Indien. À ce moment, Bourgeois aurait pu s'assurer du soutien de l'« élite » de Quito, c'est-à-dire des descendants des immigrants européens, pour garantir l'appui du gouvernement à la mission et stationner sur les terres des Indiens, mais il ne l'a pas fait ⁷³.

70. GONNESSIAT, 14 janvier 1902, AN, F 17 13 062.

71. GONNESSIAT, 19 novembre 1901, AN, F 17 13 062.

72. GONNESSIAT, 2 février 1902, AN, F 17 13 062.

73. L'affaire de Chujuj est étudiée dans M. SCHIAVON, 2003a, chap. 2.

Entre Bourgeois et Gonnessiat s'instaure peu à peu une alliance contre le chargé d'affaires français en Équateur, Frandin, qu'ils tiennent responsable de l'hostilité de Plaza ⁷⁴. Bien qu'il ait joué un rôle important pour tirer d'affaire le soldat français à Chujuj, Bourgeois réussit à convaincre le ministre français de le faire remplacer. Après Chujuj, Plaza assigne de nouveaux crédits à la mission — 14 200 sucres (35 500 francs de l'époque) versés en novembre 1902 —, alors même que les finances équatoriennes subissent un déficit de 1 810 000 sucres (4 525 000 francs) ⁷⁵. Il est difficile de comprendre cette décision sur la base des seuls documents conservés. Il est possible que les financements représentent une sorte de dédommagement lié aux nombreuses destructions de signaux géodésiques qui ont eu lieu après Chujuj. On peut aussi penser que Plaza craint que la France n'abandonne l'entreprise. Il a, en effet, conscience des avantages que le réseau géodésique apportera aux travaux publics, pour la mise en place d'un réseau de communications. En effet, le sifflet de la locomotive sur les flancs du Pichincha (près de Quito, à 4 787 m d'altitude) fut entendu pour la première fois le 25 juin 1908, deux ans après que les officiers eurent quitté l'Équateur ⁷⁶. L'établissement d'un réseau de communication implique aussi une forte présence du gouvernement dans des régions qui resteraient, sinon, très isolées. De fait, le train transforma les provinces centrales, les enrichissant grâce à l'exportation de leurs produits, notamment des bestiaux, chevaux et mulets.

La difficile fin de la mission

Le changement de chargé d'affaires et le retour à de bonnes conditions de mission profitèrent immédiatement aux officiers du Service géographique. En décembre 1902, le ministre de l'Instruction publique écrit à celui de la Guerre afin que les « qualités d'endurance physique et morale » des officiers engagés dans la mission soient récompensées : il insiste « sur l'intérêt qui s'attache à ce que Bourgeois [et les autres officiers] reçoivent un avancement exceptionnel » ⁷⁷.

Cependant, la progression des travaux géodésiques ne suit pas le programme fixé en 1900. Au début de 1903, Bourgeois signale au ministre de l'Instruction publique que la mission aura un retard d'un an par rapport au programme établi. Selon lui, cela s'explique par la destruction des repères

74. GONNESSIAT, 14 janvier 1902, AN, F 17 13 062.

75. SAINTE-MARIE, 22 novembre 1902, AN, F 17 13 062.

76. PERRIER, G., 1908, p. 354.

77. Ministre de l'Instruction publique, 19 décembre 1902, AN, F 17 13 062.

par les Indiens, qui s'intensifie après l'épisode de Chujuj, et par les conditions météorologiques. Les crêtes des Andes sont, en effet, caractérisées par la présence de très abondants nuages, formés dans les plaines amazoniennes et poussés par les alizés. Ils gênent l'observation des étoiles et des signaux ; mais, dans ces stations en altitude, ce sont les observations géodésiques des angles azimutaux qui s'avèrent les plus difficiles. En effet, contrairement aux académiciens qui travaillèrent en Amérique du Sud au XVIII^e siècle, les officiers ont des microscopes à régler et des niveaux à déterminer. Les erreurs de collimation et d'inclinaison ⁷⁸ étaient inconnues des académiciens : deux pointés leur suffisaient pour obtenir l'angle, et dans une station à quatre directions, par exemple, ils ne réalisaient pas soixante observations, comme les officiers géodésiens. Ils restaient donc moins longtemps dans les stations des Cordillères. Le rapport de l'année 1903 montre que la durée totale du séjour dans les 55 stations, sans compter les déplacements, fut de 1 137 jours, soit en moyenne une vingtaine de jours pour chacune ⁷⁹.

Mais les retards ont d'autres causes. Le commandant Bourgeois, une fois rentré en France en 1902, ne peut plus obtenir de Plaza la permission de revenir en Équateur. Or Poincaré est convaincu que Bourgeois est seul capable de réaliser les mesures pendulaires auxquelles il tient tout particulièrement ⁸⁰. Le ministre des Affaires étrangères se renseigne ainsi constamment auprès du chargé d'affaires français, puis du nouvel ambassadeur à Quito, pour savoir si Plaza est revenu « à des sentiments plus équitables à l'égard du chef de la mission géodésique » ⁸¹. En réalité, s'il n'y a pas d'interdiction formelle vis-à-vis de Bourgeois, il suffirait à Plaza de retirer son appui à la mission pour rendre sa tâche très difficile. Ainsi, en 1905, d'autres officiers se chargent de réaliser les mesures pendulaires. Il est vrai que le commandant doit alors organiser un cours de géodésie et d'astronomie de position que le ministre de la Guerre vient d'inaugurer au Service géographique.

En outre, les problèmes de financement restent sérieux, malgré la contribution de Plaza. En mai 1903, Bourgeois les signale au ministre de l'Instruction publique, qui accepte de prolonger d'un an les travaux, jusqu'à la fin de 1905. Mais au début de l'année, il apparaît que ce délai sera

78. L'erreur de collimation est celle qui est commise dans l'orientation d'un appareil par rapport à une direction précise. L'inclinaison est l'erreur de position oblique de l'instrument par rapport à l'horizon ou à un plan donné.

79. POINCARÉ, H., 1904, p. 1013.

80. POINCARÉ, 4 juin 1904, AN, F 17 13 062.

81. MERCIER, 8 juillet 1903, AN, F 17 13 062.

trop court. Pour le tenir, il faut beaucoup réduire le programme établi en 1900 : raccourcir la longueur de l'arc, renoncer à certaines observations, notamment aux différences de longitude, et réduire les mesures pendulaires. La mission française n'étant pas entrée en Colombie ⁸², la longueur de l'arc avait déjà été réduite : si la mission s'achevait à la fin de l'année 1905, cela aurait signifié un raccourcissement de l'arc de 1/6^e au total, puisqu'il aurait fallu également renoncer aux mesures vers le sud, au Pérou. L'élimination des observations pendulaires est considérée comme une suppression « déplorable » par Poincaré, qui avait personnellement insisté sur leur importance en 1900. Elle reviendrait à avouer la faillite de l'oeuvre française, alors que les États-Unis sont toujours prêts à en profiter pour achever la mission.

Revenu d'Équateur au début de 1905, Perrier indique qu'il serait possible de terminer la mission au milieu de juin 1906 et de réaliser ainsi une bonne partie des mesures pendulaires, si la France allouait 145 000 francs. Mais le Parlement ne propose que 45 000 francs, et on ne peut plus compter sur des aides du gouvernement équatorien. C'est alors qu'intervient le prince Roland Bonaparte ⁸³, avec une donation de 100 000 francs, sans doute à la demande de Poincaré : tous deux sont membres de la Société française d'astronomie ⁸⁴, qui a toujours suivi avec intérêt les progrès de la mission.

L'opération doit, dès lors, respecter les nouveaux délais. Les officiers réalisent en alternance mesures géodésiques et astronomiques. La période de juin 1905 au 16 juin 1906, quand le dernier navire français quitte le port de Guayaquil, se passe sans autres incidents avec les autorités locales. Il faut dire que le secteur où les officiers ont opéré à partir d'avril 1903 est très différent de celui des Cordillères, où l'altitude atteint 2 500 à 3 000 mètres. Au Sud-Ouest, le littoral est bas, chaud et humide, avec un climat quelquefois dangereux, mais une visibilité qui permet de trianguler plus facilement. De plus, selon les officiers, la région est habitée par une population plus active et plus « pénétrée » des idées européennes. Le Sud-Est, avec les vallées des hauts affluents de l'Amazone, immenses étendues de faible altitude, ne pose pas non plus de problèmes particuliers pour les travaux de géodésie.

82. Officiellement, la mission française n'entre pas en Colombie à cause des troubles politiques dans ce pays. Selon les documents d'archives, c'est plutôt le conflit entre Bourgeois et Frandin qui a joué (SCHIAVON, M., 2003a, chap. 2).

83. Sur Bonaparte, voir M. SCHIAVON, 2003a, pp. 549-553.

84. Le prince Bonaparte en est membre depuis 1891, tandis que Poincaré, entré en 1897, en est le président de 1901 à 1903.

En juin 1906 s'achève donc la mission en Équateur, avec deux ans de retard sur le calendrier prévu. Au total, elle a coûté 685 000 francs (hors la solde des officiers), dont 83 250 francs fournis par l'Équateur. La somme très importante fournie par l'État français souligne que l'intérêt de la mission ne s'appuyait pas seulement sur des argumentations scientifiques.

*

L'étude de cette opération de mesure d'arc de méridien au début du ^{xx}^e siècle souligne que la géodésie fut essentielle tant pour la cartographie et la mise en place d'un réseau de transports et de communications que pour les recherches théoriques en astronomie et en physique, le développement technique et instrumental, les mesures de précision et pour diverses entreprises à visée politique, économique et/ou culturelle.

La mission en Équateur renforça durablement la réputation du Service géographique de l'armée. Poincaré félicita à leur retour les officiers géodésiens. Chargé par l'Académie des sciences du contrôle scientifique de la mission, lui-même avait joué un rôle important dans l'organisation des opérations, même si ses ambitions ne furent pas complètement tenues. Mais les officiers ont été, de fait, les maîtres à bord d'un bout à l'autre de la mission. Ce sont eux qui ont décidé des instruments les mieux adaptés aux difficultés du terrain, qui les ont modifiés, qui les ont à nouveau éprouvés, qui ont choisi des méthodes de mesure plus appropriées au travail en haute montagne et dans des conditions climatiques très variables. La reconnaissance de Poincaré vaut, dès lors, à Bourgeois et à ses officiers un avancement militaire ⁸⁵, tandis que Bassot est nommé en 1903 directeur de l'observatoire de Nice, ce qui représente une importante récompense scientifique pour son travail.

Du point de vue des carrières, la mesure d'arc est pour Bourgeois source de gratifications peut-être moins évidentes qu'une immédiate élection à l'Académie des sciences ⁸⁶. Mais il a gagné le soutien de Poincaré ⁸⁷. En 1908, il remplace le mathématicien à la chaire d'astronomie et géodésie de

85. Dossier Bourgeois (SHAT).

86. Cette gratification avait été donnée à François Perrier après la mesure de l'arc de méridien France-Algérie (SCHIAVON, M., 2007).

87. Il loua particulièrement Bourgeois, bien qu'il ne soit resté qu'un an sur place, pour sa capacité à organiser les opérations et pour sa compétence dans la direction des travaux, ainsi que pour son « tact psychologique » (POINCARÉ, H., 1902, p. 965). L'officier et le mathématicien sont natifs d'Alsace-Lorraine, ce qui a pu renforcer leurs liens.

l'École polytechnique. À partir de 1905, il organise un cours d'astronomie et de géodésie de position au Service géographique de l'armée. Dans le projet du ministre de la Guerre de 1904, ce cours aurait dû remplacer celui de l'École polytechnique : c'est l'intervention de Poincaré qui sauve ce dernier. Le fait que Bourgeois donne ces deux enseignements reflète le crédit qu'il a acquis lors de la mission autant que l'autorité que détient le Service géographique dans ce domaine.

Plus globalement, les officiers sont soutenus par Poincaré : selon lui, l'Académie des sciences doit réserver une place au directeur du Service géographique dans sa section de géographie et navigation ⁸⁸. Les officiers géodésiens offrent, en effet, des garanties techniques aussi bien que morales pour des missions aux importants enjeux scientifiques et politiques. Il les décrit comme un « ensemble homogène » de compétences, de moyens techniques et de méthodes. Les conseils de Poincaré sur l'organisation et la conduite des opérations sont en contrepartie adoptés par les officiers militaires, en vertu sans doute à la fois de son prestige et de son appui. À travers l'autorité du mathématicien, l'officier certifie sa position de géodésien-scientifique dans la société.

Ainsi, si elle a été un grand laboratoire d'essais d'instruments et de méthodes d'observations, la mesure de l'arc de méridien de Quito a aussi servi aux géodésiens militaires pour renforcer durablement leur influence comme officiers et comme savants. En effet, les retentissement de la mission se prolongent : en 1914, Bourgeois est nommé président de la Société française de physique, ce qui lui permet de garder un contact privilégié avec les constructeurs d'instruments comme avec les scientifiques. Bourgeois et Perrier, alors membres de la Société française de géographie, sont nommés dans la section de géographie et navigation de l'Académie des sciences, le premier en 1917, le second en 1926. Enfin, pendant la Première Guerre mondiale, Bourgeois, alors directeur du Service géographique de l'armée, y organise des services importants pour la conduite de la guerre des tranchées. Ses officiers, affectés aux tout nouveaux Groupes des canevas de tir, utilisent des méthodes expérimentées pendant la mission en Équateur ⁸⁹.

Par ailleurs, comme dans d'autres missions militaires et scientifiques ⁹⁰, les savants ont promu avec la mission en Équateur une forme dif-

88. POINCARÉ, H., 1900a, p. 215.

89. SCHIAVON, M., 2003b.

90. Voir notamment L. PYENSON, 1993 et, sur les liens entre exploration scientifique et conquête coloniale, H. BLAIS, 2000 ; « L'Académie des sciences... », 2004, pp. 34-43.

férente de colonisation, sans occupation réelle du pays : il s'agit d'établir une *colonisation culturelle* de l'Amérique du Sud, dont la manifestation la plus claire est l'installation d'un astronome français à Quito. En 1910, quand le gouvernement de l'Équateur offre à la France de contrôler cet observatoire, à travers un directeur dépendant du gouvernement français, le secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, Gaston Darboux (1842-1917), donne un avis favorable. Il demande que le directeur ait le contrôle réel et exclusif de l'observatoire et de son personnel, notamment qu'il puisse recruter du personnel scientifique non équatorien. Darboux souligne deux avantages de cette proposition équatorienne : dans une perspective strictement scientifique, « nulle part nous ne trouverions à moins des avantages scientifiques équivalents » (le contrôle du ciel austral) ; mais il s'agit aussi d'établir une « influence française dans un pays étranger ». Si l'offre n'était pas acceptée, l'Équateur s'adresserait à une autre nation, ce qui compromettrait sans doute la « situation française » en Amérique du Sud ⁹¹.

Toutefois, la conquête culturelle de l'Amérique du Sud est-elle la raison ultime de la mission géodésique ? Tout ne peut pas se réduire à cette logique. Faire du discours scientifique une pure idéologie colonialiste ne peut pas rendre compte de la participation de tant d'acteurs, de leurs motivations particulières, de leur obsession de réaliser des mesures précises, de l'adaptation des pratiques et des techniques, du test d'instruments sur le terrain, de l'expérience d'une vie communautaire dans des régions éloignées et des conditions de vie difficiles, bref de tout un travail qui nous éclaire surtout sur ce que peut signifier « faire science » à cette époque.

Ainsi, pendant une mesure de terrain, le géodésien rencontre des personnes, des situations et des possibilités différentes pour « faire science ». Reproduire la mesure scientifique sur le terrain implique de résoudre des problèmes techniques liés à l'utilisation d'instruments en dehors des conditions optimales du laboratoire et de comprendre, juger et négocier les milliers de données obtenues. Ces instruments, étudiés et perfectionnés au cours d'une mesure géodésique, sont, en retour, essentiels au travail dans le laboratoire scientifique. C'est aussi pour cela que le gouvernement français finance, sur le conseil des académiciens, des militaires et non pas, par exemple, des physiciens qui, à cette époque, ne font pas de travaux de terrain — même si tous savent aussi que l'instrument scientifique peut devenir un instrument de guerre.

91. DARBOUX, G., Comité secret du 25 juillet 1910, AS.

Durant l'opération de mesure d'arc, il s'agit encore d'accumuler des informations, de réaliser une collection de milliers de données qui ne sont pas immédiatement exploitées. Cela n'est pas réellement important : la mesure d'arc est plutôt un moyen de faire progresser les connaissances. Aujourd'hui, la valeur de ce moyen peut être mise en discussion. Mais à l'époque, le fait que les données n'aient pas servi à vérifier les hypothèses de Poincaré ou été exploitées pour de nouvelles théorie n'est pas grave : on a établi des contacts, on a fabriqué des instruments, on a appris à réaliser des mesures de précision sur le terrain. Ainsi, la mission de Quito nous amène à nous interroger sur les buts de « faire science » à cette époque : recueillir des données, vérifier des théories, publier, coloniser, diffuser des savoirs, apprendre, développer l'instrumentation ? Probablement tout cela.

Les expositions du Muséum d'histoire naturelle soulignent cette visée encyclopédique, en mêlant géologie, pétrographie, météorologie, ethnographie, anthropologie, sciences naturelles. Montrant au public le travail des officiers géodésiens, elles nous offrent aussi une vision de la science profondément liée à l'armée. « Faire science » est, à cette époque, une attribution du militaire aussi bien que du civil.

Sources imprimées

Catalogo generale descrittivo degli strumenti geodetici e topografici dell'Istituto geografico militare al 27 ottobre 1922, Florence, Tipografia Barbera, 1922.

CLAUDE, François Auguste & DRIENCOURT, Ludovic, « Astrolabe à prisme », *Bulletin des séances de la Société française de physique*, 1907, p. 205.

Général CORNILLE, « Discours prononcés aux funérailles de Henri Poincaré », *Annales des mines*, août 1912.

JOBIN, Amédée, « Astrolabe à prisme. Méthode des hauteurs égales pour la détermination de la longitude et de la latitude », *Bulletin des séances de la Société française de physique*, 22 décembre 1906, pp. 80-82.

MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE, *Arc de méridien équatorial en Amérique du Sud*, Paris, Gauthier-Villars, 1910, 138 p.

PERRIER, Georges, « La figure de la terre. Les grandes opérations géodésiques », *Revue de géographie annuelle*, vol. 2, 1908, pp. 338-444.

POINCARÉ, Henri, « Les mesures de gravité et la géodésie », *Bulletin astronomique*, t. 18, 1886, pp. 5-39.

—, « Sur la figure de la Terre », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 107, 9 juillet 1888, pp. 67-71.

—, « Rapport sur le projet d'unification des jours astronomique et civil », *Annuaire du Bureau des longitudes*, 1895, pp. E1-E10.

—, « Rapport sur le projet de l'arc de méridien de Quito », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 131-2, 1900(a), pp. 215-236.

- , « La mesure de la Terre et la géodésie française », *Bulletin de la Société astronomique de France et revue mensuelle d'astronomie, de météorologie et de physique du globe*, décembre 1900(b), pp. 513-521.
- , « Sur les déviations de la verticale en géodésie », *Bulletin astronomique*, t. 18, 1901, pp. 257-276.
- , « Commission chargée du contrôle scientifique des opérations géodésiques de l'Équateur », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 134-1, 1902, pp. 965-972.
- , « Grandeur de l'astronomie : conférence donnée à l'assemblée générale du 6 mai de la Société astronomique de France », *Bulletin de la Société astronomique de France*, 1903, pp. 861-871
- , « Rapport présenté au nom de la Commission chargée du contrôle scientifique des opérations géodésiques de l'Équateur », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 138-1, 1904, pp. 1013-1019.
- , « Rapport présenté au nom de la Commission chargée du contrôle scientifique des opérations géodésiques de l'Équateur », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 140-1, 1905, pp. 998-1006.
- , « Rapport présenté au nom de la Commission chargée du contrôle scientifique des opérations géodésiques de l'Équateur », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 145-2, 1907, pp. 366-370.
- RIVET, Paul, « Essai sur les peuples sud-américains », *Revue scientifique (revue rose)*, t. IX, n° 9, 29 février 1908, pp. 257-269.
- RIVET, Paul, LESTER, Paul & RIVIÈRE, Georges-Henri, « Le laboratoire d'anthropologie du Muséum », *Archives du Muséum d'histoire naturelle*, Paris, Masson, 1935.
- TARDI, Pierre, « Rapport sur la publication des résultats de la mission à l'équateur », présenté à la Commission de l'Académie des sciences le 17 avril 1946, archives de l'Académie des sciences.
- , *Archives de l'École polytechnique* (X1873), 1940.

Bibliographie

- ALDER, Ken, « A Revolution to Measure: The Political Economy of the Metric System in France », in WISE, Norton (ed.), *The Values of Precision*, Princeton, Princeton University Press, 1995, pp. 39-70.
- AUBIN, David, « Orchestrating Observatory, Laboratory, and Field: Jules Janssen, the Spectroscope, and Travel », *Nuncius*, 17, 2002, pp. 143-162.
- BLAIS, Hélène, *Les voyages français dans le Pacifique. Pratique de l'espace, savoirs géographiques et expansion coloniale (1815-1845)*, thèse de doctorat, EHESS, juin 2000.
- BLONDEL, Christine, « Les physiciens français de l'électricité industrielle à la fin du XIX^e siècle », *Physis-Rivista internazionale di storia della scienza*, vol. XXXV, fasc. 2, 1998 (nuova serie), p. 245-271.
- BOURGUET, Marie-Noëlle, « Savants et militaires en Égypte. Une conquête au nom des sciences et des arts ? », *La Recherche-hors série*, 7, avril-juin 2002, pp. 84-88.
- BOURGUET, Marie-Noëlle & LICOPPE, Christian, « Voyages, mesures et instruments. Une nouvelle expérience du monde au siècle des Lumières », *Annales. Histoire, sciences sociales*, 5, septembre-octobre 1997, pp. 1115-1151.
- BOURGUET, Marie-Noëlle, LEPETIT, Bernard, NORDMAN, Daniel, SINARELLIS, Maroula

- (éd.), *L'invention scientifique de la Méditerranée. Égypte, Algérie, Morée*, Paris, éditions de l'EHESS, 1998.
- BOURQUET, Marie-Noëlle, LICOPPE, Christian, SIBUM, Heinz Otto (eds.), *Instruments, Travel and Science. Itineraries of Precision from the Seventeenth to the Twentieth Century*, Londres-New York, Routledge, 2002, 303 p.
- BOURQUIN, Jean-Christophe, *L'État et les voyageurs scientifiques. Légitimités individuelles et volontés politiques. Les missions du ministère de l'Instruction publique, 1840-1914*, thèse de doctorat, Université de Paris-I, 1993.
- BRENNI, Paolo, « Soleil, Duboscq and their Successors », *Bulletin of the Scientific Instruments Society*, 51, 1996, pp. 7-16.
- , « Jules Carpentier (1851-1921) », *Bulletin of the Scientific Instruments Society*, 43, 1997, pp. 12-15.
- BRET, Patrice, *L'État, la recherche, la science. L'invention de la recherche publique en France (1763-1830)*, Rennes, PUR, 2002, 483 p.
- DUCLERT, Vincent, *L'affaire Dreyfus*, Paris, La Découverte, 1994, 124 p.
- JAMES, Frank A. J. L. (ed.), *The Development of the Laboratory. Essays on the Place of Experiment in Industrial Civilization*, Basingstoke, Macmillan Press Scientific & Medical, 1989, 260 p.
- KUKLICK, Henrika & KOHLER, Robert E. (dir.), « Science in the Field », *Osiris*, 11, 1996, 261 p.
- « L'Académie des sciences et la politique des voyages, 1795-1895 », *La Revue pour l'histoire du CNRS*, n° 10, 2004, pp. 34-43.
- « La Science et la Guerre. 400 ans d'histoire partagée », *La Recherche-hors série*, n° 7, avril-juin 2002.
- LELONG, Benoît, « Pratiques scientifiques et formes de sociabilité : le laboratoire Cavendish au tournant des XIX^e et XX^e siècles », *Bulletin de la société d'histoire moderne et contemporaine*, 3-4, 1997, pp. 58-70.
- LE TOURNEUR, St., « Driencourt, Joseph-Ferdinand-Ludovic (1858-1940) », in Jean-Charles ROMAN D'AMAT & Roger LIMOUZIN-LAMOTHE (dir.), *Dictionnaire de biographie française*, Paris, Letouzey, 1967, p. 776.
- LEVY, J., « Claude, François Auguste », in Charles C. GILLISPIE (ed.), *Dictionary of Scientific Biography*, New York, Charles Scribner's sons, 1978, pp. 298-299.
- LA FUENTE, Antonio, « L'aventure et la science dans l'Expédition du Pérou (1735-1743) », in Henri LACOMBE & Pierre COSTABEL (dir.), *La figure de la Terre du XVIII^e siècle à l'ère spatiale*, Paris, Gauthier-Villars, 1988, pp. 139-149.
- LA FUENTE, Antonio & PÉSET, José L., « La question de la figure de la Terre. L'agonie d'un débat scientifique au XVIII^e siècle », *Revue d'histoire des sciences*, 37, 1984, pp. 235-254.
- LA FUENTE, Antonio & DELGADO, Antonio J., « La geometrización de la tierra, observaciones y resultados de la expedición geodésica hispano-francesa al Virreinato del Perú, 1735-1744 », *Cuadernos Galileo de Historia de la Ciencia*, 1984, 275 p.
- LA FUENTE, Antonio & MAZUECOS, Antonio, *Los caballeros del Punto Fijo. Ciencia, política y aventura en la expedición geodésica hispanofrancesa al virreinato del Perú en el siglo XVIII*, Madrid, Serbal CSIC, 1987.
- PALLADINO, Paolo & WORBOYS, Michael, « Science and Imperialism », *Isis*, 84, 1993, pp. 83-102.
- PANG, Alex Soojung-Kim, *Empire and the Sun. Victorian Solar Eclipse Expedition*,

- Stanford, Stanford University Press, 2002, 224 p.
- PESTRE, Dominique, « The Moral and Political Economy of French Scientists in the First Half of the 20th century », *History and Technology*, 13, 1997, pp. 241-248.
- PYENSON, Lewis, *Cultural Imperialism and Exact Sciences: German Expansion Overseas, 1900-1930*, New York, P. Lang, 1985.
- , « Ciencia pura y hegemonía política: investigadores franceses y alemanes en Latinoamérica », in Antonio LAFUENTE & Juan José SALDAÑA, *Historia de las ciencias*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1987, pp. 195-216.
- , *Empire of Reason: Exact Sciences in Indonesia, 1840-1940*, Leiden, 1988.
- , « Cultural Imperialism and Exact Sciences Revisited », *Isis*, 84, 1993a, pp. 103-108.
- , *Civilizing Mission. Exact Sciences and French Overseas Expansion, 1830-1940*, Baltimore-Londres, Johns Hopkins University Press, 1993b.
- , « On the Military and Exact Sciences in France », in Paul Forman & Jose M. Sánchez-Ron (eds.), *National Military Establishments and the Advancement of Science and Technology: Studies in 20th century History*, Boston-Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1996, pp. 135-152.
- LENOIR, Timothy, *Instituting Science. The Cultural Production of Scientific Disciplines*, Stanford, Stanford University Press, 1997, 369 p.
- RAJ, Kapil, « La construction de l'Empire de la géographie : l'odyssée des arpenteurs de sa très gracieuse majesté, la reine Victoria, en Asie centrale, 1854-1904 », *Annales. Histoire, sciences sociales*, 52-5, 1997, pp. 1153-1904.
- RASMUSSEN, Anne, « Compte rendu de Lewis Pyenson, Civilizing Mission », *Annales. Histoire, sciences sociales*, 4-5, juillet-octobre 1998, pp. 1001-1003.
- ROBIC, Marie-Claire, BRIEND, Anne-Marie & RÖSSLER, Mechtild (dir.), *Géographes face au monde*, Paris-Montréal, L'Harmattan, 1996.
- SCHAFER, Simon, « Metrology, Metrication and Victorian Values », in Bernard LIGHTMAN, (ed.), *Victorian Science in Context*, Chicago and London, The University of Chicago Press, 1999, pp. 438-474.
- SCHIAVON, Martina, « La face cachée d'Henri Poincaré », *La Recherche-hors série*, n° 7, avril-juin 2002, pp. 78-79.
- , *Itinéraires de la précision. Géodésiens, artilleurs, savants et fabricants d'instruments en France, 1870-1930 environ*, thèse de doctorat, EHESS, décembre 2003(a), 3 vol., 756 p.
- , « De savants-officiers entre Science, Armée, État et industrie de précision : les géodésiens du Service géographique de l'armée, 1887-1920 », in *Le sabre et l'éprouvette. L'invention d'une science de guerre, 1914-1939*, numéro spécial de 14-18 Aujourd'hui, Today, Heute, mars 2003(b), pp. 61-74.
- , « Nineteenth-Century Geodesy: the New French Meridian (1870-1895) », in David AUBIN, Charlotte BIGG & Heinz Otto SIBUM, (dir.), *The Heavens on Earth*, 2007.
- TATON, René, « L'expédition géodésique de Laponie (avril 1736-août 1737) », in Henri LACOMBE & Pierre COSTABEL (dir.), *La figure de la Terre du XVIII^e siècle à l'ère spatiale*, Paris, Gauthier-Villars, 1988, pp. 115-138.