
RAPPORT PRÉSENTÉ AU NOM DE LA COMMISSION
CHARGÉE DU CONTRÔLE SCIENTIFIQUE
DES
OPÉRATIONS GÉODÉSIQUES DE L'ÉQUATEUR⁽¹⁾

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. 134, p. 965-972 (28 avril 1902).

La Commission chargée par l'Académie du contrôle scientifique des opérations géodésiques de l'Équateur s'est réunie le 10 mars dernier pour entendre M. le Commandant Bourgeois, chef de la Mission, qui vient de rentrer en France après avoir organisé le travail. Ce savant officier lui a rendu compte des mesures effectuées pendant l'année 1901, et votre Commission a l'honneur de vous soumettre un Rapport sommaire sur ces opérations.

L'avant-garde de la mission, comprenant MM. les Capitaines Maurain et Lallemand, a consacré les premiers mois de 1901 à l'achat des mules nécessaires aux convois et à la reconnaissance de la région de Riobamba, où devait se trouver la base fondamentale.

Le gros de la mission, commandé par M. Bourgeois et comprenant M. le Capitaine Lacombe, M. le Lieutenant Perrier, M. le Médecin aide-major Rivet, plusieurs sous-officiers, caporaux et soldats, débarqua à Gayaquil le 1^{er} juin avec le matériel. Des convois furent organisés avec 120 mules

(¹) Commissaires : MM. les Membres du Bureau, MM. Faye, Hatt, Bassot, Lœwy; H. Poincaré, rapporteur.

de louage et 40 Indiens porteurs. La règle bimétallique, qui ne pouvait être transporté qu'à dos d'hommes, arriva à Riobamba le 13 juillet. Le reste du matériel était arrivé le 22 juin. Six officiers équatoriens adjoints à la mission aidèrent à l'organisation des convois, et leur entremise facilita les rapports avec les autorités locales et avec les indigènes.

M. le Commandant Bourgeois se rendit d'abord à Quito et visita l'Observatoire, où M. Gonnessiat a déjà en peu de temps obtenu d'excellents résultats.

Le chef de la Mission se porta ensuite dans le voisinage de Riobamba, où il examina les emplacements reconnus par l'avant-garde.

La première chose à faire était de choisir la base à mesurer. M. Maurain avait proposé deux emplacements de base, l'un de 10^{km} environ à travers champs, l'autre de 6^{km},500 sur route. M. Bourgeois rejeta, avec raison selon nous, le second alignement parce qu'une de ses extrémités étant tout près du Chimborazo, l'influence des attractions locales était trop à redouter. Le premier alignement, malgré les inconvénients d'une mesure à travers champs, se recommandait d'ailleurs par son rattachement facile.

La base fut mesurée une première fois à la règle bimétallique du 30 juillet au 4 septembre; entre les deux termes extrêmes, un terme intermédiaire fut établi à la portée 840, c'est-à-dire au tiers environ de la base. Ce segment partiel, d'un peu plus de 3^{km}, fut mesuré une seconde fois à la règle bimétallique du 7 au 18 septembre. Toute réduction faite, la différence entre les deux mesures n'est que 7^{mm}, soit environ $1/450\ 000^e$.

L'opération, malgré les difficultés du terrain, a été menée rapidement, puisqu'on a fait en moyenne 80 portées par jour.

Il importe d'insister sur les difficultés rencontrées et qui peuvent influer sur la précision du résultat. La nature du terrain rendait des glissements possibles et la stabilité des supports incertaine. D'un autre côté, les inclinaisons étaient souvent très fortes. En résumé, l'appareil bimétallique de Brenner se prête mal à une mesure faite en pleins champs.

D'autres difficultés provenaient du climat; l'humidité des nuits et des matinées oblige à remplacer constamment les fils des micromètres qui se détendent; et même quand on parvient à les préserver la nuit avec du chlorure de calcium, ils se détendent à vue d'œil dès qu'on ouvre la boîte si l'on opère entre 6^h et 9^h du matin; d'un autre côté, entre 11^h et 1^h s'élève un vent du Nord-Est qui soulève des flots de poussière. Ces poussières

s'introduisant dans les instruments s'opposent au libre glissement des règles et détérioreraient rapidement les appareils. Enfin les variations de température sont très brusques et l'on peut se demander si l'équilibre thermique des deux règles est bien assuré.

Toutes ces raisons rendaient d'autant plus nécessaire le contrôle par la mesure au fil Jädderin. La Mission était munie de deux fils, un en cuivre, l'autre en métal invar ou acier-nickel Guillaume. Les opérations devaient comprendre : un premier étalonnage des fils, deux mesures complètes de la base et un second étalonnage des fils.

En vue de l'étalonnage, on fit établir dans un jardin appartenant à don Pedro Lizaraburo, petit-neveu de don Pedro Maldonado, le compagnon de voyage de La Condamine, deux petits piliers à 24^m l'un de l'autre. La distance exacte des deux piliers fut mesurée trois fois à la règle bimétallique; trente mesures de cette même distance avec l'appareil Jädderin ont permis ensuite de déterminer la longueur des deux fils et leur coefficient de dilatation. Don Pedro a pris des dispositions pour que les piliers restent installés à demeure dans son jardin, de façon à permettre de nouveaux étalonnages à une époque quelconque. Il y a lieu de remercier cet ami de la Science qui a tenu à rester fidèle aux traditions de sa famille.

La mesure de la base fondamentale faite en double par le système Jädderin a été terminée le 9 octobre et suivie d'un nouvel étalonnage des fils.

Les opérations astronomiques autour de Riobamba ont occupé la Mission du 9 octobre à la fin de novembre. On avait d'abord pensé placer à Quito même une des stations astronomiques principales. Un observatoire temporaire avait été installé près de Quito de façon à pouvoir être facilement relié d'une part à l'Observatoire permanent de cette ville et d'autre part au réseau trigonométrique. Cet observatoire était placé sur la colline du Panecillo, qui est pour ainsi dire collée aux premières pentes de l'énorme masse du Pitchincha. La latitude fondamentale qu'on aurait pu y observer aurait donc été fortement affectée par les attractions locales.

A ce point de vue, le voisinage immédiat de Riobamba présentait des conditions beaucoup plus favorables. M. Elysée Reclus a comparé la région interandinienne à une immense échelle dont les montants sont représentés par les deux Cordillères et les barreaux par les chaînes transversales qui les relient de distance en distance; ces barreaux partagent le plateau interandinien en une série de cirques successifs. Il est clair que la verticale doit être moins déviée

au centre d'un de ces cirques que dans le voisinage de l'un des barreaux. C'est pour cette raison que la situation de Riobamba étaient avantageuse.

Le Commandant Bourgeois résolut donc d'installer à la Loma, près de Riobamba, une station principale, et de déterminer la latitude à la fois au Panecillo et à la Loma, puis la différence de longitude des deux stations, et enfin un azimut au Panecillo et un autre à la Loma, par la méthode des observations méridiennes.

Les latitudes furent déterminées par la méthode de Villarceau en huit soirées dans quatre positions du cercle observées chacune nadir face Nord et nadir face Sud.

La différence des longitudes put se faire sans grande difficulté, car les deux postes étaient reliés télégraphiquement et l'administration des télégraphes avait eu la complaisance de mettre le fil à la disposition exclusive des observateurs de 8^h à 11^h du soir.

Malheureusement l'échange des observateurs ne put être pratiqué; les officiers n'auraient pu abandonner leur poste sans s'exposer à voir disparaître les mires, parce que le personnel français était trop peu nombreux et qu'il aurait fallu laisser la garde à des Indiens en qui l'on ne pouvait avoir confiance. On s'est donc contenté de déterminer avec le plus grand soin les différences d'équations personnelles. Cela paraît devoir suffire pour le but à atteindre, c'est-à-dire pour le calcul des attractions locales dans le sens Est-Ouest, qui sous les latitudes équatoriales ne peuvent être déduites des observations d'azimut.

En même temps que l'observation de la longitude, et pour profiter de l'étude de la marche de l'horloge, M. Bourgeois fit à Riobamba une station de pendule dans une casemate construite pour l'installation de l'horloge. Cette station, une fois calculée, nous permettra déjà de voir si les Andes se comportent de la même façon que les Alpes et l'Himalaya en ce qui concerne la correction d'altitude. On se souvient que divers géologues avaient émis des doutes à cet égard.

Les éléments magnétiques furent également déterminés,

Pendant ce temps, on s'occupait également du rattachement. En moins de 35 jours M. Maurain reconnut les stations du rattachement et y construisit les signaux, ainsi qu'aux sommets de trois des triangles du grand réseau. M. le Capitaine Lacombe acheva de rattacher la base de Riobamba au réseau dans les derniers mois de 1901.

Le programme comportait, en outre, la détermination de la latitude à la seconde ronde en chacune de ces stations. On comptait se servir du théodolite à microscopes qu'on y avait hissé pour les opérations géodésiques. On avait modifié cet appareil dans l'espoir de le rendre propre aux observations astronomiques; malheureusement il n'était rentré de chez le constructeur que quelques jours avant le départ, de sorte qu'il n'avait pu être essayé à Paris. A l'usage, les observateurs rencontrèrent des difficultés, surtout pour l'éclairage; on dut donc ajourner l'opération projetée. Nous discuterons plus loin les moyens de reprendre cette importante opération qui ne saurait en aucun cas être abandonnée.

M. le Commandant Bourgeois quitta Riobamba le 23 novembre après avoir tout terminé. M. Maurain partit de Quito les 26 pour les stations du Sud, en laissant à M. le Lieutenant Perrier le soin d'achever les opérations au Panecillo. M. Perrier rejoignit à son tour M. Bourgeois, le 11 décembre, dans le nord de l'Équateur.

En décembre, le chef de la Mission, accompagné du Capitaine Lallemand, du Lieutenant Perrier et du Médecin aide-major Rivet, se rendit dans la région du Nord pour les déterminations astronomiques et la mesure de la base de vérification. Dans les projets primitifs, l'arc devait être prolongé sur le territoire colombien, mais les événements politiques dont cette région vient d'être le théâtre ont rendu cette prolongation impossible. L'arc ne se trouvera ainsi diminué que de 15'. La station astronomique Nord et la base de vérification se trouvaient ainsi reportées près de la ville de Tulcan.

Malheureusement, dans cette région les deux Cordillères se rapprochent l'une de l'autre et il n'y a plus de plateau interandin. Il est donc difficile de choisir un emplacement de base. On doit même renoncer complètement à en trouver un comportant l'emploi de la règle bimétallique. L'état des chemins ne permettait d'ailleurs pas de songer au transport de cette règle, transport qui aurait entraîné de trop fortes dépenses. Il fallut donc se contenter du fil Jädlerin; la pente montait par endroits jusqu'à 10%. On devait faire trois mesures de la base, mais il fallut recommencer cette triple mesure à plusieurs reprises par suite de divers accidents. Le plus fâcheux de ces accidents est une déformation du fil qui a été réparée, mais d'où il résulte néanmoins que les étalonnages faits avant la mesure ont perdu toute valeur, de sorte que tout se passera comme si les fils n'avaient été étalonnés qu'une fois.

La station astronomique de Tulcan a été construite et sa latitude déterminée.

La latitude de la station astronomique Sud à Payta était observée en même temps par M. le Capitaine Maurain. Les valeurs provisoires sont $+ 0^{\circ}47'15''$ pour Tulcan et $- 5^{\circ}5'18''$ pour Payta, ce qui donne à l'arc une amplitude totale de $5^{\circ}52'33''$.

Cependant M. Lallemand reconnaissait le rattachement au réseau général de la base mesurée et de la station astronomique de Tulcan.

Si j'ajoute que M. le Médecin aide-major Rivet, qui a d'ailleurs coopéré aux travaux géodésiques, a fait d'importants envois au Muséum et a entrepris l'étude anthropologique des races indiennes, j'aurai fait voir que les membres de la Mission ont bien employé l'année 1901.

L'arc à mesurer se trouve partagé en deux tronçons, l'un entre la station astronomique principale de Riobamba et celle de Tulcan au Nord, l'autre entre Riobamba et la station astronomique du Sud à Payta. Chacun de ces tronçons sera subdivisé en deux sections, le premier par la station astronomique de Quito, où les opérations sont terminées, le second par une station astronomique secondaire à choisir dans la région de Cuença.

On remarquera que le réseau télégraphique actuel permet déjà la mesure de la différence de longitude entre les extrémités des trois sections du Nord. Il y a lieu d'espérer qu'avant la fin de la Mission, c'est-à-dire avant la fin de 1904, la jonction avec les lignes péruviennes sera achevée, ce qui permettrait de relier les deux dernières stations, Payta et Cuença. Dans le cas contraire, on devrait se contenter de déterminer à Payta l'attraction dans le sens Est-Ouest par la différence entre les azimuts géodésique et astronomique, qui donnerait déjà une indication utile puisque la latitude de Payta est déjà de 5° .

D'après les instructions laissées par le chef de la Mission, le programme comprendrait :

En 1902, les opérations géodésiques du tronçon Nord et la reconnaissance de la 1^{re} section du tronçon Sud.

En 1903, les opérations astronomiques du tronçon Sud, les opérations géodésiques de la 1^{re} section du tronçon Sud et la reconnaissance de la 2^e section.

En 1904 : 1^o la fin des opérations géodésiques de la chaîne et la mesure de la base de Payta ;

2° Le nivellement de précision depuis la mer jusqu'à la base fondamentale de Riobamba. Dans les projets primitifs, cette opération devait se faire au début de la Mission; mais l'état actuel des chemins des Cordillères l'aurait rendue très difficile, tandis qu'en 1904 le chemin de fer sera terminé et l'on pourra l'utiliser pour les transports, tout en faisant le nivellement le long de la plate-forme même de la ligne ferrée;

3° Le rattachement géodésique du réseau à une station du bord de la mer et les observations astronomiques dans cette station. Ces opérations ont pour but de comparer les différences de longitude, tant géodésique qu'astronomique, entre la chaîne et le littoral. Cette détermination aurait une grande importance; malheureusement la nature boisée du terrain en rend encore la réalisation incertaine. On pourra en tout cas observer la différence de longitude astronomique Gayaquil-Quito.

Toutes les fois que les circonstances le permettront, on fera en outre dans diverses stations géodésiques des observations pendulaires et magnétiques et des mesures de latitude.

Il y a lieu d'insister sur l'importance de ces déterminations de la latitude et du pendule. Puisque le théodolite à microscopes ne semble pas pouvoir être utilisé, la latitude ne pourra être mesurée que dans les stations où le cercle méridien pourra être monté. Mais, toutes les fois que ce transport sera possible, sans trop de peine et de dépenses, il ne faudra pas négliger ce genre d'observations, principalement dans le voisinage des cinq stations astronomiques et des bases. C'est la seule garantie que nous ayons que les latitudes fondamentales déterminées dans ces stations ne sont pas faussées par les attractions locales.

Bien convaincu comme nous de cette nécessité, le chef de la Mission a étudié les points où le cercle méridien pourra être transporté. Dans le voisinage de Riobamba, la latitude pourra être mesurée à Chujuj, ainsi qu'en un point de la Cordillère de l'Est et aussi, malgré l'altitude, à la station de Chimborazo. La station de la Loma se trouvera ainsi bien encadrée.

A la hauteur de Quito, on a déjà la latitude fondamentale du Panecillo. On fera une station de pendule au sommet du Pitchincha; cette opération est absolument nécessaire: c'est là en effet qu'au XVIII^e siècle a opéré Bouguer, et c'est après cette mesure qu'il a adopté la correction qui porte son nom.

On sera donc obligé de laisser le cercle méridien au sommet de cette montagne et l'on en profitera pour faire une détermination de la latitude. Ce point est très voisin du Panecillo, mais dans des conditions très différentes au point de vue des attractions. D'autre part, M. Gonnessiat s'offre à faire des mesures de latitude à l'Est de Quito avec un instrument de l'Observatoire.

Près de la base du Nord et de la station de Tulcan, on pourra observer la latitude en trois points, un au Sud-Ouest, un au Sud et un au Sud-Est de Tulcan, d'autant plus facilement que l'un des instruments méridiens est resté dans la région.

On est donc certain de pouvoir encadrer les trois stations du tronçon Nord. Quant au tronçon du Sud, il n'est pas encore complètement reconnu, mais il y a lieu d'espérer qu'on n'y rencontrera pas de plus grandes difficultés.

En ce qui concerne les mesures pendulaires, on n'a encore fait qu'une station, celle de Riobamba; il y a lieu de procéder à une série d'observations le long d'une coupe perpendiculaire à la chaîne méridienne et allant de la mer au versant amazonien à la latitude de Riobamba. Toutefois, il serait impossible de multiplier les stations avec l'appareil Defforges; il serait donc nécessaire de faire l'acquisition d'un pendule Sterneck ou d'un appareil analogue pour les stations secondaires. On ferait alors sur cette coupe, outre la station de Riobamba, deux autres stations du second ordre par la méthode Defforges (dont une à Gayaquil) et un grand nombre de stations du troisième ordre au Sterneck.

Nous posséderons, en outre, en dehors de cette coupe, une autre station du second ordre au sommet du Pitchincha, où, comme nous l'avons dit, on tient à renouveler l'opération faite par Bouguer au xviii^e siècle.

Il y a lieu, d'ailleurs, d'appeler une fois de plus l'attention du chef de la Mission sur la nécessité de multiplier les stations au Sterneck, aussitôt qu'on disposera d'un appareil léger.

On a dû abandonner le mode d'observation par héliostats, et cela pour deux raisons : le personnel français est trop peu nombreux et les jours de soleil sont trop peu fréquents. On est donc obligé de revenir au système des mires. Dans ces conditions, il n'est plus nécessaire d'avoir deux brigades opérant simultanément, l'une sur la chaîne de l'Est, l'autre sur celle de l'Ouest. Tout en regrettant qu'on renonce ainsi à la possibilité d'obtenir des distances zénithales réciproques et simultanées, nous ne pouvons que nous incliner devant une nécessité qui paraît démontrée. Mais il y a lieu de remarquer que,

ne pouvant opérer par distances zénithales simultanées, une bonne étude de la réfraction devient encore plus utile.

En 1902, une brigade s'occupera de la reconnaissance d'une partie du tronçon Sud, pendant que deux brigades d'opérations partant l'une de Riobamba, l'autre de Tulcan, marcheront à la rencontre l'une de l'autre.

La Commission ne peut que féliciter M. Bourgeois de l'habileté avec laquelle il a préparé et conduit l'expédition. Le chef de la Mission et les officiers placés sous ses ordres ont su triompher des difficultés causées par le climat, par la nature du terrain et par les dispositions de la partie la plus ignorante de la population; pour cela ils ont dû faire preuve à la fois d'endurance physique, de tact psychologique, d'un grand talent scientifique et surtout d'un zèle infatigable. Ils ont rencontré un concours empressé chez les officiers équatoriens, qui leur ont été précieux par leur connaissance des indigènes et des ressources locales. J'ajoute que, dans les succès obtenus, une part importante revient à l'habile direction de notre confrère, M. le Général Bassot. Les résultats déjà atteints sont d'un heureux augure pour l'avenir de l'entreprise.

