
RAPPORT

SUR LES OPÉRATIONS GÉODÉSIQUES

DE L'ÉQUATEUR

Association géodésique internationale, t. 14, p. 113-127.

L'Association connaît, depuis le dernier Congrès les détails du projet de révision de l'arc méridien de Quito; je voudrais lui rendre compte de l'état actuel de cette entreprise et des premiers résultats obtenus. L'avant-garde de la Mission, comprenant MM. les Capitaines Maurain et Lallemand, s'est rendue à l'Équateur au commencement de l'année 1901 et a consacré les premiers mois de cette année aux préparatifs indispensables. 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 Guayaquil le 1^{er} juin avec le matériel. Six officiers équatoriens furent adjoints à la Mission pour aider à l'organisation des convois et leur entremise facilita beaucoup les rapports avec les autorités locales et avec les indigènes.

Grâce au zèle de tout le personnel, tout le matériel, y compris la règle bimétallique, put être transporté à Riobamba, le 13 juillet.

Les opérations commencèrent par la mesure de la base principale à Riobamba. Cette mesure, ainsi que les opérations astronomiques principales et les observations pendulaires autour de Riobamba, occupèrent la Mission jusqu'à la fin de novembre.

Pendant ce temps, M. Maurain reconnaissait les stations du rattachement

et y construisait 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.

En décembre, le chef de la Mission, accompagné du Capitaine Lallemand, du Lieutenant Perrier et de M. Rivet, se rendit dans la région du Nord pour les déterminations astronomiques et la mesure de la base de vérification. Dans les projets primitifs, cette base devait se trouver sur le territoire colombien, mais les événements politiques dont cette région fut le théâtre à cette époque rendit impossible la prolongation de l'arc en dehors de la République de l'Équateur. C'est donc sur le territoire équatorien près de Tulcan que furent choisis les emplacements de la station astronomique principale et de la base du Nord. La mesure de la base et la latitude de Tulcan furent terminés à la fin de février. On a déterminé ensuite la différence de longitude Quito-Tulcan, ce qui a demandé plus de temps à cause de l'état du ciel.

Pendant ce temps, M. le Capitaine Maurain s'était rendu à Payta à l'extrémité Sud de l'arc et avait déterminé la latitude de cette station astronomique principale.

En même temps, M. Lallemand reconnaissait le rattachement au réseau général de la base du Nord et de la station astronomique de Tulcan.

Les premières opérations avaient en somme été terminées dans les délais prévus; la triangulation proprement dite, au contraire, par suite de difficultés dont nous allons parler, avança beaucoup plus lentement qu'on ne l'avait espéré.

M. Bourgeois quitta l'Équateur pour rentrer en France au commencement de l'année 1902, laissant le commandement à M. le Capitaine Maurain; en partant, il espérait qu'on pourrait terminer dans l'année 1902 les opérations géodésiques du tronçon Nord entre les deux stations astronomiques principales de Riobamba et de Tulcan et la reconnaissance de la 1^{ère} section du tronçon sud jusqu'à la station astronomique secondaire de Cuença.

Deux brigades avaient donc été constituées, l'une devant descendre de Tulcan vers le Sud et l'autre remonter de Riobamba vers le Nord, et l'on espérait qu'elles se rencontreraient avant la fin de l'année, de telle façon que les opérations géodésiques du tronçon Nord se trouveraient terminées. M. Lallemand devait commander une troisième brigade chargée des reconnaissances et de la construction des signaux.

Ce programme est loin d'avoir été exécuté, bien que M. Maurain ait

constitué, afin de hâter les travaux, une brigade auxiliaire dont il prit lui-même le commandement.

Ce retard est dû à deux causes principales et d'abord à des circonstances météorologiques exceptionnellement défavorables. Les sommets étaient constamment masqués par des nuages ou des brouillards qui rendaient les visées impossibles. C'est ainsi que M. le Lieutenant Perrier a dû rester trois mois au poste du Mirador à l'altitude de 4000^m et presque constamment dans le brouillard. Pendant tout son séjour, pluies incessantes, horizon limité au camp même, un vent furieux qui faisaient tout trembler dans la baraque. Au bout de 15 jours, il n'avait pu mesurer qu'un seul angle sur 21 et il n'avait pas aperçu une seule fois le signal de Yura-Cruz; dans les vallées qui séparent les deux signaux s'écoulaient sans interruption, comme dans un canal, des bandes de nuages venant de l'Est. Jusqu'au dernier jour, M. Perrier eut à lutter contre les mêmes difficultés. Enfin sa persévérance fut récompensée et il put achever complètement en cette station la tâche qu'il avait à accomplir; on doit féliciter cet officier d'avoir mené à bien son travail dans de pareilles conditions et sans se laisser aller au découragement.

Les autres brigades rencontraient les mêmes obstacles que celle du Nord et leurs chefs faisaient preuve des mêmes qualités. A la Tucunga, M. Maurain ne pouvait observer qu'à de rares intervalles en profitant des éclaircies; un violent vent d'Est, accompagné de rafales de neige, rendait le travail très pénible, arrachait les attaches du toit de la baraque d'observations et enlevait les tentes à plusieurs reprises. M. Lacombe à la station de Cahuito, restait plusieurs jours dans le brouillard et la neige sans pouvoir faire aucune observation. Dans toutes les stations d'ailleurs, les éclaircies permettant d'observer étaient très rares. M. Lallemand, qui dirigeait la brigade de reconnaissance, avait à opérer dans des terrains très difficiles. Il tomba dans une crevasse au Cotopaxi et resta alité trois semaines. Ces circonstances défavorables paraissent avoir un caractère exceptionnel, les reconnaissances ne les faisaient pas prévoir. D'ordinaire la saison des pluies est plus courte et, même dans les mois les plus mauvais, les observations restent quelquefois possibles pendant plusieurs heures de la journée. Faut-il rattacher ces mauvais temps persistants à la recrudescence d'activité volcanique qui s'est manifestée dans toutes l'Amérique du Sud après la catastrophe de la Martinique? Les volcans de la Cordillère orientale qui n'émettent en temps ordinaire qu'un peu de vapeur d'eau, rejetèrent à plusieurs reprises d'épaisses colonnes

de fumée; il y eut des coulées de lave dans la chaîne occidentale; de fortes secousses sismiques se produisirent également. Ces manifestations volcaniques ne gênèrent pas directement les travaux de la Mission, mais peut-être ne sont-elles pas étrangères aux phénomènes météorologiques qui lui ont été si préjudiciables.

La seconde cause du retard est la destruction continuelle des mires par les Indiens et même par les blancs. Ces populations ignorantes s'imaginent que ces signaux sont placés là pour marquer l'emplacement d'un trésor; elles ne se bornent pas à abattre les piliers, mais elles fouillent profondément le sol tout autour, détruisant ainsi les repères que l'on s'efforce d'établir pour retrouver au besoin le centre du signal. Les avis du Gouvernement, dont on ne saurait trop louer le zèle éclairé, les mandements des évêques, les prédications des curés, n'ont pu jusqu'ici empêcher ces destructions. On peut espérer que, grâce aux efforts des autorités équatoriennes et surtout à la haute intervention de M. le Président de la République équatorienne qui porte tant d'intérêt à cette entreprise scientifique, elles deviendront de plus en plus rares.

La nécessité de reconstruire les signaux, situés souvent à une forte altitude et dans des pays où les communications sont si difficiles, entraînait toujours de longs retards; mais ce n'est pas tout. Il arriva plusieurs fois que le centre du signal détruit n'ayant pu être exactement déterminé, on dû recommencer toutes les stations d'où ce signal avait été visé. C'est ainsi que la démolition de la mire de Chujuj, située au centre d'un polygone, a obligé de refaire entièrement quatre stations.

Certains signaux ont été détruits jusqu'à trois fois et presque chaque rapport du Capitaine Maurain mentionne une nouvelle destruction. L'un des plus fâcheux de ces incidents a été la démolition simultanée de la mire astronomique du Panecillo, où se trouvait l'une des stations astronomiques principales et du signal géodésique de Pambamarca. La station géodésique n'ayant pas encore été exécutée; il a fallu déterminer entièrement à nouveau l'azimut astronomique du côté Panecillo-Pambamarca sur l'horizon de Panecillo, opération primordiale qui avait été terminée en octobre 1901. On n'est pas sans inquiétude sur les signaux du côté Zagroun-Laulanguzo qui est le côté le plus méridional aujourd'hui mesuré; si ces signaux n'étaient pas respectés pendant le temps que vont encore durer les opérations du Nord, on ne pourrait plus partir de ce côté pour continuer la chaîne vers le Sud,

et il faudrait certainement faire à nouveau plusieurs stations. Plusieurs officiers équatoriens attachés à la Mission ont été envoyés de ce côté pour surveiller ces points et attirer, sur la conservation des signaux, l'attention des autorités politiques locales.

Dans la première moitié de l'année 1903, les circonstances météorologiques, toujours défavorables, ont été un peu moins mauvaises et on a pu avancer un peu plus rapidement.

Il est difficile de prévoir l'importance du retard, d'autant plus que le Capitaine Maurain ne peut plus envoyer des rapports détaillés aussi fréquemment qu'autrefois, par suite de la peste bubonique qui règne à Guayaquil et qui empêche la plupart des bâtiments d'y relâcher.

Toutefois le dernier de ces rapports, daté du 24 mai, faisait prévoir que la Mission pourrait se trouver réunie à Cuença pour la fin de l'année, ne laissant derrière elle que les mesures de gravité. Elle aurait ainsi terminé les opérations géodésiques proprement dites sur trois des quatre sections de l'arc, ce qui constituerait un retard d'environ six mois sur les prévisions. Mais il faut pour cela que le temps ne soit pas trop défavorable.

Malgré toutes ces difficultés, nous avons la satisfaction de constater que les opérations ont été conduites dans des conditions qui nous donnent toute garantie d'exactitude. Nous n'aurons à regretter qu'un retard de quelques mois d'où résultera sans doute un surcroît de dépenses, mais la valeur scientifique de l'œuvre ne laissera rien à désirer, c'est ce que va nous montrer l'examen détaillé des résultats.

Mesures des bases.

La base fondamentale de Riobamba fut mesurée d'abord à la règle bimétallique de Brunner; comme vérification, un tronçon de 3^{km} environ fut mesuré une seconde fois à la règle bimétallique. Comme contrôle, la base totale fut mesurée en double par le système Jäderin. Après une première reconnaissance, M. Maurain avait proposé deux emplacements de base, l'un de 10^{km} environ à travers champs, l'autre de 6^{km}, 5 sur route. Malgré les avantages d'une mesure faite 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 se recommandait d'ailleurs par son rattachement facile.

La double opération à la règle bimétallique fut menée rapidement à raison de 80 portées par jour malgré les difficultés des terrains. Il importe d'insister sur la nature de ces difficultés 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 de Brunner 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 NE 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, de sorte qu'on pourrait se demander si l'équilibre thermique des deux règles est bien assuré.

La base a été partagée en deux segments, et comme nous l'avons dit, le segment Sud a été mesuré deux fois à la règle bimétallique. La comparaison des deux résultats obtenus nous permet de nous rendre compte de la précision réalisée; or nous trouvons :

Première mesure.....	3359 ^m ,965162 ^μ ,4
Deuxième mesure.....	3359 ^m ,958520 ^μ ,9
Différence.....	<u>6641^μ,5</u>

soit $1/506000$ de la longueur du segment, ce qui est bien la précision obtenue dans les bonnes mesures de base. La valeur adoptée pour la base totale est : 9380^m,758868^μ.

Ce chiffre, calculé à l'aide de l'étalonnage fait à Breteuil en 1901, pourra être très légèrement modifié à la suite du nouvel étalonnage qui vient d'être fait après le retour de la règle à Paris. Cet étalonnage a donné lieu aux observations suivantes. La règle avait été mesurée à plusieurs reprises pendant les années qui ont précédé le départ et une dernière fois en 1901. On avait constaté une variation très légère, mais systématique. L'étalonnage du retour n'a pas montré une nouvelle variation dans le même sens; au contraire, la règle était revenue à sa longueur primitive.

Il y aura lieu de discuter ces différents étalonnages, mais quel que doive être le résultat de cette discussion, le chiffre final n'en sera pas sensiblement affecté, car la différence entre les valeurs extrêmes correspond seulement à une incertitude de 2^{mm} sur la longueur totale de la base.

Quelque satisfaisante que soit la précision obtenue, les difficultés que j'ai signalées plus haut auraient pu laisser quelque doute et rendaient désirable le contrôle au fil Jäderin, ce contrôle était d'ailleurs nécessaire à un autre point de vue, car il permettait de se rendre compte de la précision que l'on pouvait attendre de la nouvelle méthode qui pouvait seule être appliquée à la base du Nord.

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; 30 mesures de cette même distance avec l'appareil Jäderin 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 Mission disposait de deux fils, l'un dit A₂ en métal invar ou acier au nickel Guillaume, l'autre dit B₁ en laiton; chaque portée était mesurée d'abord avec le fil A₂, puis avec le fil B₁ et pendant ce temps on prenait la température au thermomètre fronde aux deux extrémités et au milieu de la portée. Les mesures obtenues avec l'invar et avec le laiton étaient séparément corrigées de la température.

On calculait en outre, à titre de contrôle, la longueur de chaque portée, en la déduisant de la comparaison des longueurs mesurées avec l'invar et avec le laiton et en faisant le calcul comme avec un appareil bimétallique.

Cette dernière méthode est évidemment beaucoup moins précise à cause de la faible dilatation de l'acier au nickel; aussi n'a-t-on pas retenu les nombres auxquelles elle conduisait; ces nombres ne pouvaient servir que pour éviter les erreurs grossières comme serait par exemple, l'oubli d'une portée.

La première méthode a donné

Par le fil A₂..... 9380,75532
 Par le fil B₁..... 9380,74142

Les différences avec la mesure à la règle bimétallique ont été :

Pour le fil A₂..... — 3^{mm},5 ou 1/3200000
 Pour le fil B₁..... — 17^{mm},4 ou 1/500000

Il est évident que la concordance si complète des résultats ne peut être attribuée qu'à un heureux hasard; car si l'on compare les deux mesures faites dans le sens aller et dans le sens retour, tant avec le fil invar qu'avec le fil de laiton, on constate un écart notablement plus grand; c'est seulement la moyenne des deux mesures A₂, ou la moyenne des deux mesures B₁ qui se rapprochent d'une façon aussi extraordinaire de la longueur obtenue par la règle de Brunner.

Cependant si nous comparons les longueurs du segments Sud obtenues par les deux méthodes, nous constatons la même concordance. La moyenne des deux mesures A₂ ne diffère que de 1/300000 de la moyenne des deux mesures à la règle et il semble que ce soit bien là la précision que permet d'atteindre la méthode Jäderin avec le fil invar. Avec le laiton, l'accord est moins bon, quoique encore très satisfaisant.

En résumé, avec la méthode Jäderin, on peut compter sur le 1/100000 ou le 1/200000; mais on a beaucoup plus de garanties avec l'acier Guillaume qu'avec le laiton. Tous ces chiffres ont été calculés en se servant exclusivement du premier étalonnage fait dans le jardin de don Pedro avant les opérations sur le terrain.

On a trouvé en effet entre les deux étalonnages une différence de 1/50000 environ, et diverses raisons portent à penser que l'une des bornes a dû recevoir un choc dans l'intervalle des deux mesures. Cet incident ne doit pas nous préoccuper en ce qui concerne la base de Riobamba puisque le chiffre définitif adopté sera naturellement celui qu'a donné la règle bimétallique.

Mais il n'en est pas de même en ce qui concerne la base du Nord, mesurée à El Vinculo, près de Tulcan. Dans cette région, en effet, les deux Cordillères se rapprochent et il n'y a plus de plateau interandin. Il est donc difficile de choisir un emplacement de base. On a dû 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 Jäderin. 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, tels que destructions de repères par les Indiens. Le plus fâcheux de ces accidents est un nœud qui s'est produit dans l'un des fils; cette déformation a été réparée et toutes les mesures reprises après la réparation; mais il en 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 base d'El Vinculo devra être calculée uniquement à l'aide du second étalonnage fait après les mesures; cela est d'autant plus regrettable que cet étalonnage est lui-même suspect, puisque nous avons dit qu'on avait des raisons de supposer que l'une des borne placées dans le jardin de don Pedro avait été déplacée par un choc. Il est donc fort important de s'assurer de la réalité de ce déplacement de la borne, bien que la base d'El Vinculo n'étant qu'une base de vérification et ne devant pas intervenir dans les compensations, il semble qu'on puisse se contenter de la précision de $1/50000$ qui correspond à la différence constatée entre les deux étalonnages. Les fils Jäderin qui ont servi à l'Équateur, ont d'ailleurs été ramenés au pavillon de Breteuil où ils seront examinés de nouveau.

Une troisième base doit être mesurée à Payta, dans la partie Sud de l'arc, vers la fin des opérations. Comme l'emplacement choisi est sur une plage de sable au bord de la mer, l'emploi de la règle bimétallique redevient possible. Il serait donc à désirer que la règle de Brunner qui a servi à Riobamba et qui a été ramenée à Paris en vue d'un nouvel étalonnage pût être renvoyée à l'Équateur dès que seront terminés ce réétalonnage et sa comparaison avec la règle égyptienne qui se font actuellement à Breteuil. Cette solution n'est pas la seule, on pourrait aussi employer la nouvelle règle en acier au nickel récemment construite, si les essais faits avec cet appareil donnent toute satisfaction. Les frais de transport seraient en tout cas tout à fait minimes.

L'opération serait complétée par une mesure Jäderin, en emportant non plus deux fils de métaux différents, mais deux ou plusieurs fils en acier invar, puisque l'expérience en a démontré la supériorité. Mais dans l'intervalle, la méthode Jäderin a reçu de nouveaux perfectionnements; on a proposé de remplacer les réglettes de laiton par des réglettes en invar; et les dynamomètres

par des poids. Les deux perfectionnements semblent accroître très notablement la rapidité des opérations et la précision des résultats. Il faudrait bien entendu en munir les appareils qu'on enverrait à l'Équateur. Nous saurions ainsi définitivement à quoi nous en tenir sur l'exactitude de la nouvelle méthode, depuis les plus récents progrès qu'on a réalisés.

Triangulation.

Dans les projets primitifs, les officiers devaient se partager en deux brigades qui se seraient déplacées parallèlement, l'une sur la chaîne occidentale, l'autre sur la chaîne orientale. On devait aussi se servir d'héliostats; les Académiciens du XVIII^e siècle avaient eu en effet à souffrir de la destruction des signaux par les indigènes; on craignait de rencontrer la même difficulté et l'expérience a depuis prouvé que cette crainte n'était que trop fondée, on voulait donc éviter d'avoir à construire des signaux fixes.

Malheureusement les circonstances n'ont pas permis de suivre ce plan. En premier lieu les jours de soleil sont trop peu fréquents pour que l'emploi de héliostats puisse être avantageux. Ensuite le personnel français était trop peu nombreux pour qu'on puisse constituer, outre les deux brigades principales, une chaîne, quatre sous-brigades (deux par chaîne, une pour la station d'amont, l'autre pour la station d'aval) pour la manœuvre des héliostats.

On se trouva donc obligé de revenir au système des mires, exposées, comme nous l'avons vu, à de fréquentes destructions, et pour éviter des transports onéreux, on fut conduit d'autre part, à constituer, non pas deux brigades se déplaçant parallèlement, mais deux brigades venant à la rencontre l'une de l'autre et marchant l'une vers le Sud, l'autre vers le Nord. C'était renoncer à la mesure des distances zénithales réciproques et simultanées puisque les deux opérateurs ne devaient jamais se trouver en vue l'un de l'autre.

Nous avons dit quelles ont été les difficultés rencontrées dans la triangulation. Ces difficultés, qui ont amené tant de retards ne paraissent pas avoir eu d'influence sur la précision des résultats. Les angles azimutaux mesurés donnent une compensation très satisfaisante. Le 24 mai il ne restait plus pour achever la géodésie des stations du tronçon Nord, qu'à terminer les quatre stations de Culangal et de Pusacocha, Tupisa et Yura-Cruz.

Les observations sont sans doute commencées sur la première moitié

du tronçon Sud entre Riobamba et Cuença; là on fera opérer deux brigades marchant parallèlement du Nord au Sud; bien entendu, il faudra continuer à construire des signaux, l'emploi des héliostats demeurant impossible; mais les chances de destruction se trouveront diminuées, puisque chaque mire ne sera utile que pendant moins de temps.

Je dois signaler que, par suite de circonstances diverses, on a été obligé d'adopter pour une partie du réseau une solution toute particulière. Il a fallu construire à Sincholagua deux mires à peu de distance l'une de l'autre, parce que chacune de ces mires était invisible de certains points. On a donc mesuré de quatre stations : Corazon, Pichincha, Panecillo et Pambamarca l'angle sous lequel se voyait la distance de ces deux mires. Grâce à cette précaution, et aux conditions favorables dans lesquelles ces observations ont pu être faites, on peut être assuré que la compensation de cette partie du réseau sera aussi solide que celle du reste de la chaîne. Les erreurs de fermeture n'y dépassent pas 1" 7.

Dans la moitié Sud du tronçon Nord (section Riobamba-Quito) les fermetures de 36 triangles dont les résultats nous sont connus donnent pour valeur du coefficient de comparaison, $m = \sqrt{\frac{\sum E^2}{3n}}$, 2", 1 = 0", 7 (cette valeur tomba à 0", 6 si l'on met à part les triangles 29 et 30 dont les erreurs de fermeture tiennent vraisemblablement à ce que la mire de Ouangotasin n'a pas été exactement recentrée après les destructions). Il n'y a d'un peu considérable que la fermeture du triangle 29, 9", de sorte que la triangulation est dans son ensemble très satisfaisante.

Astronomie fondamentale.

Les projets primitifs comportaient trois stations astronomiques principales, une à Quito, une dans le voisinage de la base du Nord, une près de la base du Sud.

La ville de Quito possède un observatoire permanent actuellement dirigé par un astronome très expérimenté, M. Gonnessiat. Le concours de cet observateur éminent était pour la Mission une précieuse bonne fortune. Un Observatoire temporaire avait donc 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. Élysée Reclus a comparé la région interandine 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 interandin 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 était 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 peut 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 on ne pouvait avoir confiance. On s'est donc contenté de déterminer avec le plus grand soin les différences d'équations personnelles.

La latitude de Tulcan (station astronomique du Nord) et celle de Payta (station du Sud) ont été déterminées simultanément.

On a déterminé également un azimut à Tulcan et la différence de longitude Quito-Tulcan. Pour cette dernière différence les soirées d'échanges de signaux télégraphiques comprennent deux soirées complètes à quatre positions communes aux deux stations, deux demi-soirées communes, plus cinq soirées comportant deux positions à une station et une seule à la station conjuguée.

L'échange des observateurs n'étant pas possible, MM. Maurain et Perrier avaient déterminé leurs équations personnelles à Quito et les détermineront encore quand ils s'y rencontreront de nouveau.

Il reste, pour achever les opérations astronomiques fondamentales, à mesurer une longitude et un azimut à Payta. Depuis quelques mois la jonction entre les lignes télégraphiques péruviennes et équatoriennes est achevée, ce qui permettra de relier Payta aux stations du Nord. La mesure de la longitude astronomique ne présentera donc pas de difficulté.

Les résultats des mesures de latitudes principales sont les suivants, tous calculs faits :

Payta.....	—5° 5' 8,6
Riobamba.....	—1 40 0,9
Panecillo.....	—0 13 51,1
Tulcan.....	+0 48 25,6
Amplitude totale de l'arc.....	5 53 34,2
Amplitude du tronçon Nord.....	2 28 26,5

L'amplitude totale de l'arc reste donc voisine de 6°, bien que les événements politiques aient empêché de le prolonger en Colombie; il n'est diminué de ce fait que de 15' environ, Les observations de longitude ne sont pas encore réduites.

Astronomie secondaire.

Le tronçon Nord comportait deux stations astronomiques secondaires au Pinllar près d'Ibarra entre Tulcan et Quito, et à la Tacunga entre Quito et Riobamba. M. le Capitaine Maurain décida de déterminer d'abord la différence de longitude de la station principale de Panecillo à l'Observatoire de Quito, ce qui avait l'avantage de permettre de profiter de l'installation de cet Observatoire et de la présence continuelle de M. Gonnessiat pour la détermination de la longitude des stations secondaires. A cet effet, M. Maurain détermina, avant le départ, sa différence de l'équation personnelle avec M. Gonnessiat et observa ensuite la différence de longitude entre Quito et la Tacunga, en trois soirées et en se servant d'un seul chronographe installé à Quito et sur lequel s'enregistraient les observations des deux opérateurs. Les communications télégraphiques pouvaient se faire sans relais.

La latitude de la Tacunga fut déterminée en quatre soirées au cercle méridien; la moyenne générale provisoire est 0° 56' 0",97.

Lors du départ du dernier courrier, M. le Lieutenant Perrier se trouvait

au Pinllar, près d'Ibarra où se trouve la seconde station secondaire. Il avait achevé la détermination de la latitude, et d'un azimut et commencé celle de la longitude, Quito-Pinllar. Après avoir terminé cette opération, ainsi que les deux stations géodésiques qu'il lui reste à faire, cet officiers doit se rendre à Quito où il observera en double avec M. Gonnessiat en vue de la détermination de leur équation relative.

Une troisième station secondaire sera observée à Cuença entre Payta et Riobamba. M. Maurain doit s'y rendre en personne aussitôt les opérations du Nord terminées. M. Maurain ferait ensuite avec M. Perrier la longitude Alansi-Cuença ou Alansi-Riobamba. Alansi est une station située sur le plateau interandin au point où le chemin de fer de Guayaquil à Riobamba tourne pour remonter vers le Nord. Cette station vient d'être réunie à Guayaquil par une ligne télégraphique en cuivre.

Latitudes du troisième ordre.

Pendant le congrès de 1900, M. Helmert avait insisté sur l'intérêt qu'il y aurait, dans un pays aussi accidenté, à mesurer la latitude à la seconde ronde, autant que possible dans toutes les stations géodésiques.

On comptait d'abord se servir du théodolite à microscopes qu'on doit hisser dans chacune de ces stations 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.

Ils durent renoncer à s'en servir et l'on crut quelque temps que la latitude ne pourrait être mesurée que dans les stations où le cercle méridien pourrait être monté.

Ce n'est qu'au bout de plusieurs mois que la Mission reçut enfin des accessoires permettant l'emploi du théodolite à microscopes pour les mesures de latitude.

Le Capitaine Maurain, aussitôt après avoir observé au cercle méridien la latitude secondaire de la Tacunga, s'occupa de déterminer au théodolite une latitude de comparaison, afin de savoir quelle précision on peut attendre de cet instrument; les résultats lui ont paru suffisants pour qu'on puisse

l'employer aux opérations en Cordillère; on peut compter sur la seconde ronde. C'est d'ailleurs ce que confirme la discussion des observations ultérieures; il y a toujours une différence systématique entre les étoiles Nord et les étoiles Sud, mais les écarts entre plusieurs soirées consécutives sont toujours très faibles.

Il fut donc possible de faire des mesures de latitude dans presque toutes les stations de la moitié Nord du tronçon Nord; mais il reste sept stations dans la moitié Sud dont la latitude n'a pas été déterminée. Ce sont celles de Sagoatoa, Huicotango, Mulmul, Cahuito, Chimborazo, Zagroun, Yana-Ashpa.

M. Lallemand va s'y rendre spécialement, pendant que les autres officiers opéreront dans le tronçon Sud. Il consacrera vraisemblablement plus de trois mois à ces observations de latitude.

Je dois ajouter que la Mission va recevoir deux appareils Claude-Driencourt; cet appareil, que M. Bouquet de la Grye a présenté au Congrès, comporte une plus grande précision et est très portatif; il pourra être utilisé dans les stations géodésiques qui restent à faire ou encore dans les localités où l'on devra se rendre pour les mesures du pendule.

Nivellement géodésique.

Nous avons vu pour quelles raisons on avait été obligé de renoncer à la mesure des distances zénithales réciproques et simultanées; mais on a obtenu partout des distances réciproques. Un premier examen de ces distances montre qu'elles sont bien concordantes; les réfractions semblent convenablement constantes, ce que la tranquillité des images permettait déjà de préjuger. De plus cela a été confirmé par des mesures rigoureusement simultanées faites par M. Maurain à Pambamarca et par M. Gonnessiat au Panecillo. Dans ces conditions, il est permis de compter sur un bon nivellement géodésique.

Nivellement de précision.

On avait d'abord pensé faire cette opération dès la première année. Mais l'état des chemins des Cordillères l'aurait alors rendue très difficile; on a préféré attendre l'achèvement du chemin de fer de façon à l'utiliser dans les transports tout en faisant le nivellement le long de la plate-forme même de la ligne ferrée.

M. Maurain s'est mis d'accord avec la Compagnie du Chemin de fer et toutes facilités seront accordées au personnel qui en sera chargé. Les opérations de nivellement pourront commencer aussitôt après la conclusion de l'astronomie principale du segment Riobamba-Cuença. Les 320^{km} à faire exigeront une campagne de 5 à 6 mois par suite des fortes pentes qui réduiront de moitié les nivellements normales sur le versant occidental de la Cordillère. M. le Capitaine Lacombe a reconnu sur la côte du Pacifique un emplacement convenable pour le médimarémètre.

Observations pendulaires.

C'est la partie du travail qui se trouve le plus en retard; une seule station a été faite par M. Bourgeois à Riobamba, en même temps que l'observation de la longitude et pour profiter de l'étude de la marche de l'horloge. Cette station a été réduite, il ne manque plus que la détermination définitive de la marche de l'horloge sidérale.

Aucune mesure nouvelle n'a été faite, on hésite encore au sujet de l'instrument à adopter dans les stations secondaires. Le pendule Sterneck ne paraît pas présenter d'aussi grands avantages qu'on l'avait cru d'abord. Toutefois le chef de la Mission ne perd pas de vue cette importante question et nous pouvons être assurés qu'elle ne sera pas négligée.

Les officiers qui sont actuellement à l'Équateur ne sont pas habitués aux mesures pendulaires; elles ne pourront être reprises qu'après le retour de M. le Commandant Bourgeois. Il est donc à désirer que ce retour ne se fasse pas longtemps attendre. L'importance de cette question est trop évidente et trop connue de l'Association pour qu'il soit nécessaire d'insister.

Travaux géologiques et topographiques.

Les officiers de la Mission, grâce aux trop fréquents loisirs que leur laissent les brumes ont levé au phototachéomètre, non seulement des tours d'horizon autour de chaque station, mais une carte au 1/500 000^e de la région interandine. Une minute des environs de Tulcan, levée au 1/100 000^e par le lieutenant Perrier et le Docteur Rivet, a été tirée au Service Géographique comme specimen et envoyé à M. le Président de la République de l'Équateur.

Ces travaux topographiques, et l'étude des échantillons minéralogiques

recueillis dans le voisinage de chaque station faciliteront l'étude des attractions locales.

Observations magnétiques.

Des observations magnétiques ont été faites dans la plupart des stations; elles n'ont pas encore été réduites.

Sciences naturelles.

M. le Médecin aide-major Rivet s'est occupé d'études relatives aux sciences naturelles. Il a fait de nombreux envois au Museum et il a entrepris une étude anthropologique sur les races indiennes de la région interandine. Je profite de l'occasion pour ajouter que M. le Docteur Rivet a pris une part active aux opérations géodésiques proprement dites et qu'il a été d'un grand secours à M. Perrier dans les stations difficiles où cet officier a observé.

Relèvement du géoïde.

Dans le Congrès de 1900, plusieurs membres ont fait observer que l'attraction des masses montagneuses des Andes pourrait produire d'importantes déviations de la verticale et un relèvement notable du géoïde et qu'il importait de se mettre en garde contre les erreurs qui pouvaient en résulter.

En ce qui concerne les déviations dans le sens N-S les mesures de latitude du 3^e ordre dont nous avons parlé plus haut doivent suffire pour nous renseigner.

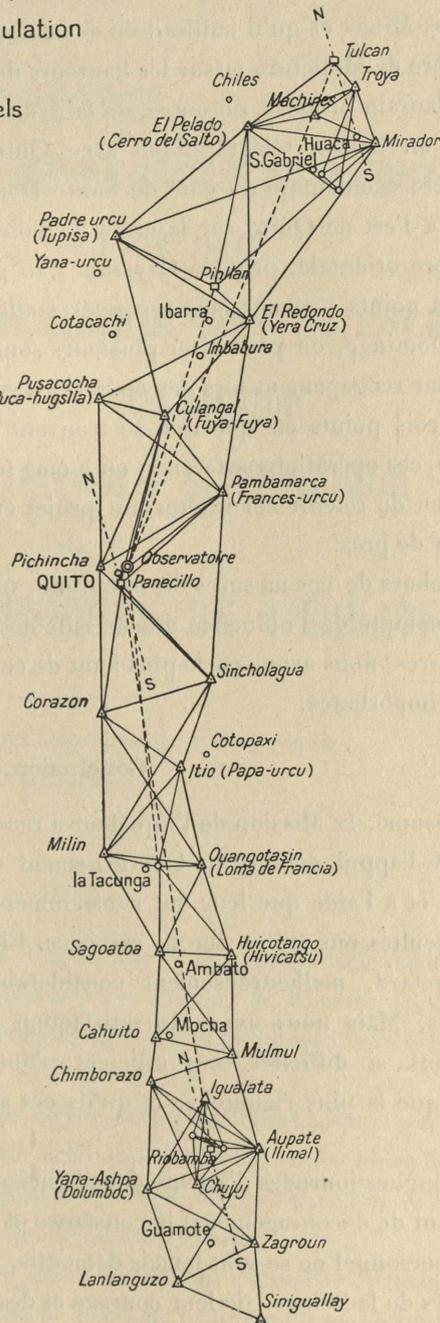
Les différences entre les latitudes géodésiques et astronomiques dans les stations dont nous connaissons les résultats atteignent 15" et 18" sexagésimales et souvent pour des points relativement rapprochés.

Il semble qu'il serait d'autant plus désirable de connaître exactement les déviations dans le sens E-O, qui, on doit s'y attendre, doivent être plus considérables. On a montré dans le dernier Congrès quelles sont les difficultés qu'on doit rencontrer dans cette détermination.

Le premier moyen proposé consistait, on se le rappelle, à mesurer la longitude géodésique et la longitude astronomique, Guayaquil-Quito en utilisant une île du Golfe de Guayaquil, l'île de Puna, qui se prêterait à l'installation des signaux.

ARC MÉRIDIEN DE QUITO
Partie Nord de la Triangulation

- Signes conventionnels
- Coté de la Triangulation ———
 - Base géodésique ———
 - Différence de Longitude - - - - -
 - Azimut - - - - -
 - Sommet géodésique ▲
 - Station astronomique □
 - Observatoire de Quito ●
 - Localités importantes ○
 - Sommets de montagnes ○



Les derniers rapports du Capitaine Maurain font prévoir que cette opération pourrait se faire sans trop de difficultés en partant des côtés Cahuapata-Soldados-Minas et qu'il suffirait de deux stations intermédiaires placées sur la Cordillère de Molleturo et sur les hauteurs de Puna.

M. Maurain propose, en outre, de faire des observations de longitude en trois points, en liaison télégraphique avec Quito et situés l'un à l'ouest de la Cordillère occidentale du côté de Santo Domingo de los Colorados, un autre un peu à l'est de Quito sur la crête de Poingasi, un troisième au pied de la Cordillère orientale, près de Cayambe; au point de vue géodésique les deux derniers points peuvent être recoupés facilement des stations du réseau; de Santo Domingo, on peut viser plusieurs sommets dont la position a été déterminée par recoupement lors des opérations géodésiques.

Les trois points en question se trouvant tout indiqués comme stations de pendule, ces opérations se feraient en même temps que la campagne de gravité. Il y a lieu de retenir cet intéressant projet et d'inviter le chef de la Mission à l'étudier de près.

En dehors de ces mesures de longitude, on possède un autre moyen de se rendre compte de l'influence des massifs des Andes. Ce sont les observations pendulaires; nous avons parlé plus haut de cette question et nous avons insisté sur son importance.

Conclusion.

En résumé, la Mission de l'Équateur a rencontré de très grandes difficultés. Grâce à l'appui éclairé du Gouvernement équatorien, au zèle des officiers français et à l'aide que leur ont constamment prêtée les officiers équatoriens, ces difficultés ont été ou seront vaincues. Elles n'auront d'autre conséquence qu'un retard, malheureusement considérable, et un surcroît imprévu de dépenses. Mais nous avons la satisfaction de constater, que en dépit de conditions si difficiles, ces officiers n'ont rien sacrifié de la précision scientifique la plus rigoureuse et qu'ils ont accompli une œuvre de très haute valeur.

Les longues journées d'attente dans la neige et le brouillard n'ont pas amené un instant de découragement; la constance et le dévouement des officiers et de tout le personnel ne se sont jamais démentis. Il y a lieu de féliciter ces vaillants pionniers de la Science de leur courage et des résultats obtenus.

