

INSTITUT DE FRANCE.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

RAPPORT

**PRÉSENTÉ AU NOM DE LA COMMISSION CHARGÉE DU CONTRÔLE SCIENTIFIQUE
DES OPÉRATIONS GÉODÉSIQUES DE L'ÉQUATEUR.**

**Commissaires : MM. les MEMBRES DU BUREAU; MM. LÉWY, BOUQUET DE LA GRYE, BASSOT, HATT;
H. POINCARÉ, rapporteur,**

DANS LA SÉANCE DU 25 AVRIL 1904,

PAR M. H. POINCARÉ.



INSTITUT DE FRANCE.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Extrait de *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*,
t. CXXXVIII, p. 1013 (séance du 25 avril 1904).

RAPPORT

*Présenté au nom de la Commission chargée du contrôle scientifique
des opérations géodésiques de l'Équateur.*

Commissaires : MM. les Membres du Bureau; MM. Loëwy,
Bouquet de la Grye, Bassot, Hatt; H. Poincaré, rapporteur.

« La Commission chargée par l'Académie du contrôle scientifique des opérations géodésiques de l'Équateur s'est réunie le 8 mars dernier pour entendre le Rapport de M. le commandant Bourgeois sur les travaux effectués pendant l'année 1903.

» Il résulte de ce Rapport que les circonstances météorologiques, qui avaient été si préjudiciables aux travaux de la mission pendant l'année précédente, ne se sont malheureusement pas améliorées, et que les opérations ne se sont pas poursuivies avec la rapidité sur laquelle on avait compté.

P.

» Dans notre Rapport précédent, nous avons fait connaître le programme proposé par M. Bourgeois, chef de la mission, programme auquel vous aviez donné votre approbation.

» L'année 1903 devait être consacrée :

- » 1° A l'achèvement des opérations du tronçon nord ;
- » 2° Aux observations géodésiques de la section Riobamba-Cuenca ;
- » 3° Aux travaux astronomiques à Cuenca ;
- » 4° Aux observations magnétiques ;
- » 5° Au commencement du nivellement de précision.

» Ce programme n'a pu être entièrement rempli ; les opérations du tronçon nord n'ont été terminées qu'au 15 février 1904. On n'a pu faire, dans le sud, que quelques stations en 1903, et les travaux astronomiques de Cuenca vont seulement commencer.

» Nous allons expliquer maintenant quelles ont été les causes de ces retards et montrer que la valeur scientifique des résultats n'en est nullement atteinte.

» Des changements ont eu lieu dans le personnel. M. le capitaine Lacombe s'est embarqué pour la France le 16 avril 1903, et a été remplacé par M. le capitaine Peyronnel qui est arrivé à Guayaquil le 20 janvier dernier. M. le médecin aide-major Rivet est venu en congé en France, mais il doit retourner à l'Équateur le 26 avril prochain.

» *Opérations du nord.* — Au 1^{er} janvier 1903, trois brigades opéraient simultanément dans le nord ; celle de M. Maurain au Corazon, à la hauteur de Quito, celle de M. Lacombe entre Quito et Riobamba, celle de M. Perrier dans le voisinage de la baie de Tulcan.

» Quand M. Lacombe partit pour la France, après avoir terminé la partie du tronçon qui lui était attribuée, on constitua, avec son personnel, une nouvelle brigade, placée sous les ordres de M. le capitaine Lallemand, et destinée à opérer entre les deux autres brigades, afin de marcher au-devant de M. Perrier et de rattraper une partie du temps perdu.

» M. le capitaine Maurain, après l'achèvement de sa section, se rendit le 9 août à Alausi, pour préparer les opérations du tronçon sud. Au mois de septembre, M. le capitaine Lallemand, ayant à son tour terminé sa tâche, partait pour Riobamba, pour reprendre, dans les stations qui entourent cette baie, les observations de latitude à la seconde ronde, conformément au vœu de l'Académie.

» M. le lieutenant Perrier avait, de son côté, presque mené à bonne fin les opérations dans la région si difficile où il travaillait, quand diverses cir-

constances l'obligèrent à reprendre plusieurs stations où il devait rencontrer des conditions aussi défavorables que pendant son premier séjour. Il y retrouva ces brouillards qui, rendant les signaux invisibles, le forcèrent de nouveau à de longues semaines d'attente à de grandes altitudes. Ce n'est, comme nous l'avons dit, que le 13 février 1904, qu'il put enfin quitter ces régions inhospitalières.

» Les causes de ces retards sont celles qui ont été signalées dans les précédents Rapports, et en particulier les circonstances météorologiques. Les stations sont toutes à de fortes altitudes; elles sont souvent battues par des tempêtes de neige ou enveloppées de nuages. Nous avons expliqué, l'année dernière, les souffrances que notre personnel avait à supporter dans ces conditions. Cette situation n'a pas changé.

» Le Tableau suivant fera d'ailleurs mieux ressortir la nature des difficultés rencontrées :

Nombre de stations distinctes.....	43
Nombre de stations redoublées.....	12
Nombre total de stations.....	55
Altitude moyenne.....	3700 ^m
Nombre total de couples mesurés.....	2391
Durée totale du séjour dans les stations, déplacements non compris.....	1137 jours

» Dans 3 stations on a dû séjourner plus de 80 jours, dans 11 plus de 30 jours, toujours par suite des circonstances météorologiques.

» La seconde cause de retard a été la destruction des signaux; deux signaux ont été détruits 2 fois et un 3 fois; 18 incidents de cette nature ont obligé les opérateurs à revenir à 12 stations et à reprendre la mesure de 360 couples. Sans le zèle éclairé du Gouvernement équatorien, sans l'appui constant et bienveillant de M. le Président de la République, ces destructions auraient été beaucoup plus fréquentes. On ne saurait trop louer les efforts persévérants des autorités équatoriennes pour assurer la conservation de nos signaux.

» Les opérations du nord étant aujourd'hui terminées, on peut dès maintenant se faire une idée de leur précision. M. Maurain a calculé provisoirement l'enchaînement entre les deux bases de Riobamba et de Tulcan. Au sujet de ce calcul, nous devons observer :

» 1^o Qu'il a été fait avant les dernières mesures du Chiles qui viennent seulement d'être achevées, et que par conséquent M. Maurain a dû conclure un angle en Chiles ;

» 2° Qu'il a admis, pour ce calcul provisoire, que les deux bases sont au même niveau.

» Dans ces conditions, M. Maurain est arrivé au résultat suivant :

Base du nord mesurée.....	6604 ^m ,77
Base du nord calculée.....	6604 ^m ,83

» La concordance est bien supérieure à ce qu'on pouvait attendre, étant données les conditions dans lesquelles on a opéré, et il ne faudrait pas s'étonner que les calculs définitifs ne l'améliorent pas; il n'en est pas moins certain, dès à présent, que celle qu'ils feront ressortir sera tout à fait satisfaisante. Nous sommes donc assurés de la très grande précision de cette partie de la triangulation.

» *Opérations du sud.* — Nous avons dit que M. Maurain, après avoir terminé ses travaux du tronçon nord, s'est rendu à Alausi le 9 août 1903; il a procédé aussitôt à la reconnaissance du tronçon sud jusqu'au massif de l'Aguay, à la construction des signaux jusqu'à Cuenca et il a achevé dans le courant de 1903 les stations de Pagroun, Lalanguzo, Sinigallay et Danas.

» La reconnaissance entreprise avait en partie pour but la recherche de l'emplacement d'une station astronomique secondaire entre Riobamba et Cuenca dans le voisinage d'Alausi. L'examen du terrain a prouvé qu'il était impossible de trouver un emplacement convenable, susceptible d'être rattaché à la triangulation, même avec une station géodésique supplémentaire. Dans ces conditions, il a paru préférable de renoncer à ce projet, que la résolution de mesurer les latitudes à la seconde ronde en chaque station rendait d'ailleurs beaucoup moins intéressant.

» M. Maurain est en ce moment à Cuenca où, après avoir aménagé la station astronomique, il a commencé les observations de latitude; il s'occupera ensuite de la détermination de la différence de longitude Cuenca-Quito.

» Le réseau primitivement prévu sera reporté plus à l'ouest en s'écartant de la direction nord-sud; quand on l'avait établi en 1899, il n'était pas encore question de pousser l'arc jusqu'à Payta, mais seulement jusqu'à la région Ayabaca, le complément à 6° étant donné par le prolongement sur le territoire colombien. Ce prolongement étant devenu impossible par suite des événements politiques, on résolut de continuer l'enchaînement vers le sud sur le territoire péruvien jusqu'à Payta sur la côte du Pacifique de façon à lui conserver une étendue totale de 6°. Cet emplacement de Payta était d'ailleurs particulièrement favorable pour les mesures de bases. Mais

comme cette localité est notablement à l'ouest du prolongement de l'arc d'abord projeté, il y a lieu de déplacer toute la chaîne. Les observations en seront d'ailleurs grandement facilitées.

» L'expérience a prouvé en effet que les difficultés climatériques qui ont causé tant de retards augmentent rapidement avec l'altitude. Or la Cordillère orientale est élevée, humide, malsaine et presque toujours couverte de nuages. A l'ouest, au contraire, on rencontrera des massifs montagneux d'altitude moindre, où les vues sont généralement libres, par suite du voisinage du désert sablonneux de Tumbez. On aboutira enfin à la plaine au bord de la mer dont le climat est très sec. En arrivant aux premières stations de cette plaine, les altitudes varieront très rapidement; il conviendra donc d'apporter un grand soin à l'observation des distances zénithales et autant que possible d'obtenir des mesures réciproques et simultanées.

» Tous les officiers vont se trouver réunis dans le sud, MM. Lallemand et Perrier ayant achevé leurs travaux dans le nord et M. Peyronnel étant arrivé à l'équateur. On pourra donc constituer deux brigades qui opéreront parallèlement; on peut espérer qu'avec cette façon d'opérer les destructions de signaux seront moins à craindre et en tous cas auront moins d'inconvénients.

» M. Maurain estime que dans ces conditions on peut compter sur une vitesse d'avancement d'une station par brigade et par mois, de sorte que les travaux essentiels de triangulation pourraient être achevés jusqu'à Payta vers la fin de 1904.

» *Latitudes de troisième ordre.* — Dès le début des opérations, on avait reconnu la nécessité de procéder aussi souvent que possible à des déterminations de latitude. Mais ne pouvant utiliser pour ces mesures les théodolites à microscopes dont ils étaient pourvus, les officiers de la mission durent y renoncer dans les premières stations qu'ils firent autour de Riobamba. Depuis ils ont reçu des accessoires qui permettent l'emploi du théodolite pour les observations de latitude, et à partir de ce moment ils ont déterminé la latitude à la seconde ronde dans toutes les stations, conformément au vœu exprimé par l'Académie et par l'Association internationale géodésique.

» Mais les premières stations étaient restées en souffrance; M. le capitaine Lallemand a donc dû s'y rendre de nouveau. Les déterminations y sont aujourd'hui terminées et les résultats de ces observations ont été envoyés à Paris afin d'y être réduits.

» Les latitudes ont donc été mesurées dans toutes les stations du tronçon

nord. En ce qui concerne le tronçon sud, la mission va disposer d'un instrument nouveau. M. le capitaine Peyronnel a apporté en effet une astrolabe à prisme du système Claude-Driencourt. M. Maurain a reconnu un emplacement près d'Alausi où les officiers pourront apprendre à la manier.

» *Nivellement.* — Les travaux du nivellement de précision sont confiés à une brigade spéciale commandée par M. l'adjudant Lallemand; elle a commencé ses opérations en décembre 1903 et a atteint vers le milieu de février la station d'Alausi; on se rappelle que la ligne à niveler s'étend le long du tracé du chemin de fer, qu'elle court nord-sud depuis Riobamba jusqu'à Alausi, puis est-ouest depuis Alausi jusqu'à Guayaquil et doit être ensuite prolongée de ce dernier point jusqu'au médimarémètre.

» C'est donc la première section nord-sud qui est aujourd'hui terminée; les résultats, d'après le rapport de M. Maurain, sont excellents, et l'on n'a eu à reprendre que très peu de nivelées.

» On rencontrera une difficulté au passage du Guayas, un peu avant Guayaquil. Cette rivière est trop large pour qu'on puisse employer les procédés ordinaires de nivellement. Il faudra opérer géodésiquement par distances zénithales réciproques et simultanées. Une bonne vérification consisterait à se rattacher par un nivellement de précision à des points situés sur les deux rives du Guayas. En choisissant le moment où les courants de marée s'annulent, on pourra admettre en effet que le niveau de l'eau est sensiblement le même sur les deux rives.

» A la suite d'une reconnaissance faite avant son départ par M. le capitaine Lacombe, un emplacement a été choisi pour le médimarémètre à Salinas, sur la côte du Pacifique, en un point situé en dehors des courants. M. Peyronnel a apporté deux médimarémètres, dont l'un sera sans doute installé à Salinas et l'autre à Payta.

» *Pendule.* — Cette partie du programme est toujours restée en souffrance. L'Académie ne saurait trop insister sur son importance; et comme il semble que cette situation doive se prolonger jusqu'au retour de M. le commandant Bourgeois en Équateur, nous devons émettre le vœu que ce retour soit aussi prompt que possible.

» Il y a cependant un résultat intéressant à signaler: la station de Riobamba a été réduite, et l'on a pu constater que les résultats concordent avec la formule de Bouguer, tandis que les mesures faites dans les massifs des Alpes et de l'Himalaya ne s'accordent pas avec cette formule et se rapprochent plutôt de celle de Faye. Ainsi se trouvent confirmées les prévi-

sions de M. de Lapparent, fondées sur la différence des conditions tectoniques des Andes et de l'Himalaya. Il y a lieu d'ailleurs de rappeler que c'est à la suite d'une observation faite au Pichincha que Bouguer avait adopté cette formule.

» *Rattachement de Guayaquil.* — Ce résultat fait prévoir un relèvement assez considérable du géoïde, il devient donc de plus en plus intéressant d'apprécier l'importance de ce relèvement en mesurant la différence des longitudes géodésique et astronomique de Guayaquil. Il faut pour cela rattacher géodésiquement cette station à la triangulation; à cet effet, on a proposé de se servir de l'île de Puna, située dans le golfe de Guayaquil. Le chef intérimaire de la mission n'a pas perdu de vue cette importante question, et il a étudié une autre solution qui consisterait à prendre comme base la ligne géodésique calculée Sinaçalman-Minas; en visant des deux extrémités de cette ligne le sommet du Cerro de Santa Anna, tout proche de Guayaquil. On économiserait ainsi deux stations, ce qui serait fort important, étant donné le retard des opérations, et l'on ne perdrait pas beaucoup en précision. Il reste à savoir si cela est possible; les côtés du triangle auraient de 100^{km} à 120^{km}; M. Maurain estime que cette distance pourrait être franchie; c'est ce qu'une reconnaissance ultérieure nous pourra seule apprendre.

» *Divers.* — Les observations magnétiques ont été poursuivies.

» M. le D^r Rivet est rentré en France en rapportant pour le Muséum de nombreuses caisses de collections; ces collections intéressent toutes les parties de l'Histoire naturelle, mais principalement l'Anthropologie.

» *Programme et résumé.* — Nous avons dit plus haut qu'on pouvait prévoir l'achèvement des opérations du tronçon S pour la fin de 1904. La latitude de Cuenca est actuellement mesurée. Il est probable que l'on aura terminé à la même époque :

» 1^o Les différences de longitude Cuenca-Quito et Payta-Quito;

» 2^o Le nivellement de précision.

» Il resterait donc pour 1905 :

» 1^o La base de Payta;

» 2^o Le rattachement de Guayaquil et la différence de longitude Guayaquil-Quito;

» 3^o Les observations pendulaires.

» Il y a lieu une fois de plus de féliciter nos officiers des résultats qu'ils ont obtenus et dont la valeur scientifique est très grande, de rendre

hommage à leur zèle et à leur constance dans les circonstances difficiles où ils ont opéré depuis trois ans.

» Nous devons remercier également les officiers équatoriens dont le concours nous a été très utile, et surtout le Gouvernement équatorien qui n'a cessé de nous venir en aide, non seulement par ses subsides, mais par son intervention constante auprès des populations. »