

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

(Commissaires : MM. les membres du Bureau : MM. Bouquet de la Grye, Hatt, Bassot, Lœwy ; H. Poincaré, rapporteur.)

« La Commission chargée par l'Académie du contrôle scientifique des opérations géodésiques de l'Équateur s'est réunie le 9 mars dernier, pour entendre le Rapport de M. le Commandant Bourgeois sur les travaux effectués pendant l'année 1902.

» Il résulte malheureusement de ce Rapport que les mesures n'ont pu être menées aussi rapidement qu'on l'avait espéré l'année dernière et l'on peut évaluer dès aujourd'hui le retard à six mois environ.

» 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 faisait 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 Tacunga, 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'observation 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 et de construction des signaux, 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 toute 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, rejettent 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, 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 au zèle éclairé de M. le Président de la République, 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 a 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-Lanlanguzo, 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.

» 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.

» *Mesure des Bases.* — Nous avons dit, dans notre Rapport précédent, que deux bases ont été mesurées en 1901, une au centre, à Riobamba, mesurée d'abord à la règle bimétallique, et ensuite aux fils Jäderin; l'autre au nord, à El Vinculo, mesurée seulement aux fils Jäderin. Ces opérations ont été exécutées dans la campagne précédente, mais depuis elles ont été réduites, et ce sont les résultats de cette réduction que nous avons à examiner.

» La base fondamentale de Riobamba a été partagée en deux segments, et le segment sud a été mesuré deux fois; si nous comparons les deux résultats en nous servant de l'étalonnage fait à Breteuil en 1901, nous trouvons :

Première mesure	3 359 ^m , 965 162 ^u , 4
Deuxième mesure.....	3 359 ^m , 958 520 ^u , 9
Différence.....	6641 ^u , 5

soit $\frac{1}{506000}$ de la longueur du segment, ce qui est bien la précision qu'on doit attendre de semblables mesures.

» La valeur adoptée pour la base totale est

$$9380^{\text{m}}, 758868^{\text{m}},$$

mais ce chiffre pourra être très légèrement modifié à la suite du nouvel étalonnage qui vient d'être fait à Breteuil 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.

» La mesure avait été faite, en outre, deux fois encore au moyen de l'appareil Jäderin, et la comparaison présente un grand intérêt, car elle nous permet de nous rendre compte de la précision que l'on peut attendre de la nouvelle méthode qui a été seule appliquée à la base du nord. On s'est servi de deux fils, l'un dit A_2 en métal invar, l'autre dit B_1 en laiton; chaque portée était mesurée d'abord avec le fil A_2 , puis avec le fil B_1 , et pendant ce temps on prenait la température du 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. On n'a pas retenu, d'ailleurs, les nombres obtenus par cette dernière méthode, évidemment beaucoup moins précise, à cause de la faible dilatation de l'acier au nickel. La première méthode a donné :

Par le fil A_2	9380,755 32
Par le fil B_1	9380,741 42

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

Pour le fil A_2	$-3^{\text{mm}}, 5$ ou $\frac{1}{3200000}$
Pour le fil B_1 ..	$-17^{\text{mm}}, 4$ ou $\frac{1}{500000}$

» Le résultat trop faible obtenu avec le fil B, semble tenir à ce que le laiton reste constamment au-dessous de la température ambiante; de sorte qu'en se fondant sur le thermomètre-fronde, on fait une correction trop forte.

» 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 A_2 ou la moyenne des deux mesures B, qui se rapprochent d'une façon aussi extraordinaire de la longueur obtenue par la règle de Brunner.

» Cependant, si nous comparons les longueurs du segment sud obtenues par les deux méthodes, nous constatons la même concordance. La moyenne des deux mesures A_2 ne diffère que de $\frac{1}{300000}$ 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 $\frac{1}{100000}$ ou le $\frac{1}{200000}$, mais on a beaucoup plus de garanties avec l'acier Guillaume qu'avec le laiton.

» Les fils avaient été étalonnés sur une base de 24^m dans le jardin de don Pedro Lizzaraburo avant l'opération et ils l'ont été de nouveau après. On a trouvé entre les deux étalonnages une différence de $\frac{1}{50000}$ environ, et diverses raisons portent à penser que l'une des bornes a dû recevoir un choc dans l'intervalle des deux mesures; les chiffres que nous venons de rapporter ont donc été déduits du premier étalonnage seul. Ce qui doit nous préoccuper, c'est que, pour la mesure de la base d'El Vinculo, on a dû se servir d'un étalonnage nouveau pris sur cette base suspecte; les étalonnages anciens n'ont pu servir, l'un des fils ayant subi un accident pendant les opérations. Il est donc 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, la précision de $\frac{1}{50000}$ puisse sembler très suffisante.

» 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 semble

tout indiqué; il serait donc à désirer que cet instrument pût être renvoyé à l'Équateur, dès que seront terminés son réétalonnage et sa comparaison avec la règle égyptienne qui se font maintenant à Breteuil (1). 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 dont l'expérience a démontré la supériorité. Il serait à désirer que l'on emploie des appareils munis des derniers perfectionnements et que, par exemple, les réglettes de laiton soient remplacées par des réglettes en invar et les dynamomètres par des poids. Nous saurons ainsi définitivement à quoi nous en tenir sur l'exactitude de la nouvelle méthode, depuis les plus récents progrès qu'on a réalisés.

» *Observations astronomiques principales et secondaires.* — Cette partie du programme a pu être entièrement remplie. La latitude de Tulcan (station principale) a été terminée dès le milieu de février; la différence de longitude Quito-Tulcan a demandé plus de temps à cause du mauvais état du ciel, 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. Le calcul de ces observations de longitude n'est pas encore terminé, mais les résultats paraissent satisfaisants.

» 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.

» 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

» Le tronçon nord comportait deux stations astronomiques secondaires

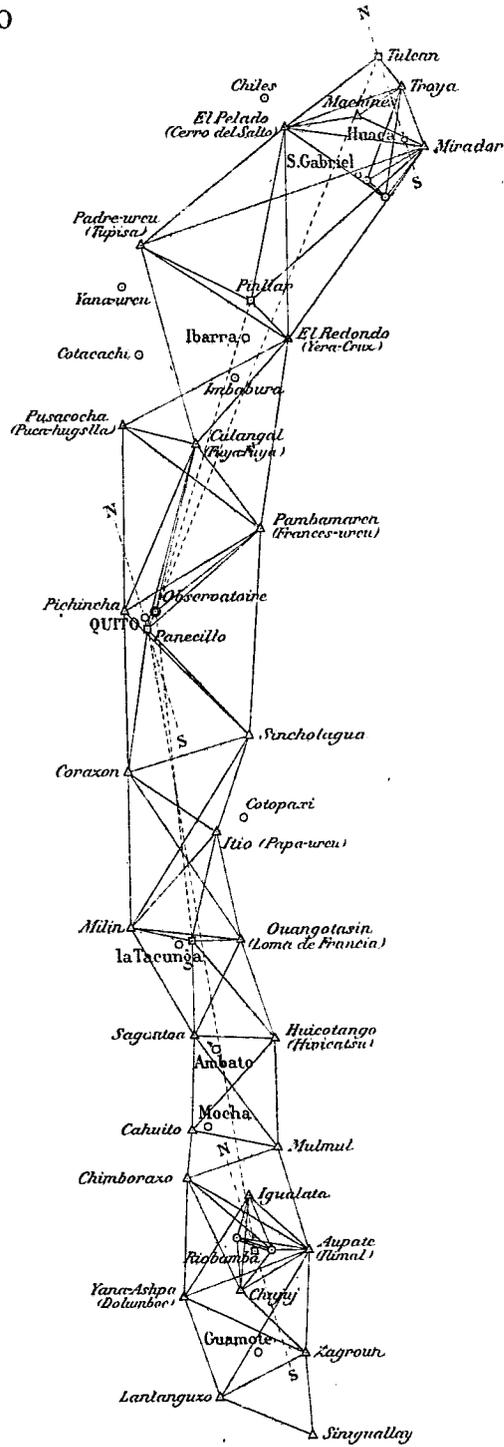
(1) On pourrait aussi remplacer cette règle bimétallique par la nouvelle règle en acier au nickel récemment construite, si les essais faits avec cet appareil donnaient toute satisfaction.

ARC MÉRIDIEN DE QUITO

Partie Nord de la Triangulation

Signes conventionnels

Côté de la Triangulation	—
Base géodésique	—○—
Différence de Longitude
Azimut
Sommet géodésique	▲
Station astronomique	□
Observatoire de Quito	⊙
Localités importantes	○
Sommets de montagnes	○



à la Tacunga et à Ibarra. M. le Capitaine Maurain décida de déterminer d'abord la différence de longitude de la station principale du 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 continue de M. Gonnessiat pour la détermination de la longitude des stations secondaires. A cet effet, M. Maurain détermina, avant le départ, sa différence d'équation personnelle avec M. Gonnessiat et observa ensuite la différence de longitude entre Quito et les deux stations secondaires, 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 relai.

» La latitude de la Tacunga fut déterminée en quatre soirées au cercle méridien; la moyenne générale provisoire est — $0^{\circ}56'0'',97$. Les résultats de l'observation de la latitude d'Ibarra ne sont pas encore réduits.

» *Opérations géodésiques.* — Les opérations astronomiques ont donc pu être terminées dans le délai prévu et le retard a porté exclusivement sur les opérations géodésiques proprement dites.

» Le tronçon nord, depuis le côté Zagroun-Lanlanguzo, comportait 30 stations entre les termes des deux bases; sur ces 30 stations, 6 ou 7 restent à faire. La brigade du nord a terminé le polygone qui entoure la base d'El Vinculo, sauf la station centrale de Machines; la brigade du sud, partie du côté Zagroun-Lanlanguzo au sud de Riobamba, a atteint le côté Pichincha-Pambamarca, au nord de Quito. Malheureusement on peut craindre, à cause des conditions climatériques, que quelques-unes des stations restantes ne donnent lieu à des difficultés analogues à celles que l'on a déjà rencontrées.

» Les angles azimutaux mesurés dans ces stations donnent une compensation très satisfaisante, l'erreur moyenne de fermeture des triangles déjà calculés est d'une seconde sexagésimale environ.

» *Distances zénithales.* — On sait qu'il n'a pas été possible, en général, de mesurer les distances zénithales réciproques et simultanées; mais on a obtenu partout les 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.

» *Latitudes de troisième ordre.* — L'attention des officiers de la mission avait déjà été attirée sur la nécessité de procéder aussi souvent que possible à des déterminations de latitude. Mais le théodolite à microscopes ne paraissait pas pouvoir être utilisé et d'autre part le cercle méridien était d'un transport difficile. Depuis un progrès considérable a été accompli et la mission a reçu des accessoires qui permettent 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.

» D'autre part, la mission va recevoir deux appareils Claude-Driencourt; cet appareil, qui a été décrit dans le *Bulletin astronomique*, tome XVII, 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.

» Un grand nombre d'observations de latitude du troisième ordre ont pu être faites au théodolite, une station au sud de Riobamba, une dans la région de Riobamba, deux autour de la Tacunga, trois autour de Quito (Pambamarca, Pichincha, Corazon), quatre autour de la base du nord.

» *Pendule.* — Cette partie du travail n'a pas fait de progrès; la station de Riobamba est réduite, il ne manque plus que la détermination définitive de la marche de l'horloge sidérale. Mais 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; M. Maurain avait songé à l'emploi de la nouvelle méthode thermo-barométrique qui a été employée sur l'Atlantique, mais il y a renoncé avec juste raison, car elle ne pourrait donner une précision suffisante. 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 donc 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.

» *Nivellement de précision.* — L'achèvement des travaux du chemin de fer jusqu'au plateau interandin va permettre de commencer le nivellement de précision entre la base de Riobamba et Guayaquil; les communications sont maintenant beaucoup plus faciles qu'au début des observations.

» *Travaux 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 $\frac{1}{500000}$ de la région interandine. Une minute des environs de Tulcan, levée au $\frac{1}{100000}$ par le lieutenant Perrier et le D^r Rivet, a été tirée au Service géographique comme spécimen et envoyée à M. le Président de la République de l'Équateur.

» *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 a continué ses études relatives aux Sciences naturelles, il a fait de nombreux envois au Muséum et il a entrepris une étude anthropologique sur les races indiennes de la région interandine. Je profite de l'occasion pour rappeler que M. le D^r 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.

» *Programme de 1903.* — M. le Commandant Bourgeois propose de consacrer l'année 1903 :

- » 1° A l'achèvement des opérations du tronçon nord;
- » 2° Aux observations géodésiques du tronçon sud ou tout au moins de la section Riobamba-Cuença, comprenant, outre les observations azimutales, la détermination de la latitude à la seconde ronde, à chaque station, si possible;
- » 3° A la latitude secondaire de Cuença et la différence de longitude Cuença-Riobamba (ou Cuença-Quito, si l'on peut avoir entre ces deux stations une communication télégraphique sans relai);
- » 4° Aux observations magnétiques, etc., dans les conditions générales prévues;
- » 5° Au commencement du nivellement de précision;
- » Il resterait, pour les années suivantes, la géodésie du tronçon Cuença-

Payta, la mesure de la base de Payta, les observations pendulaires, et le rattachement, si possible, par des observations géodésiques de l'île de Puna à la chaîne méridienne, avec une station astronomique complète à Puna.

» Ce programme nous paraît devoir être approuvé.

» *Conclusions.* — Il résulte de cet exposé que les officiers de la Mission, malgré les conditions difficiles où ils se sont trouvés placés, 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, et le zèle, 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.

» Nous insisterons une fois de plus sur l'importance des opérations pendulaires et nous devons remarquer que, dans une mission de cette importance, ces observations ne peuvent être confiées qu'à des officiers qui s'y sont rompus par une longue pratique. Ce n'est pas dans les conditions difficiles où nos missionnaires se trouvent placés et quand leur attention est distraite par d'autres soins de toutes sortes qu'ils peuvent faire un apprentissage aussi délicat. Aussi nous considérons comme capital, au point de vue du succès définitif, que M. le Commandant Bourgeois retourne en Équateur dans un délai aussi court que possible. Les autres opérations ne pourront d'ailleurs que gagner à la présence du Chef de la mission. »

MÉMOIRES LUS.

PHYSIQUE DU GLOBE. — *Principaux résultats de la mission de la Martinique,*
par M. A. LACROIX.

« Après un séjour prolongé à la Martinique, durant lequel il m'a été permis de suivre pas à pas le développement de l'éruption en cours, je demande à l'Académie la permission de lui présenter un résumé succinct des principales données scientifiques acquises ainsi. Elles se rapportent à deux ordres de faits importants, sur lesquels elles jettent une lumière nouvelle. Les premiers sont relatifs à la constitution et au mode de formation d'une catégorie spéciale d'appareils volcaniques; les autres se rattachent aux phénomènes produits sous l'influence des agents volatils.

» Les appareils extérieurs résultant de l'action des éruptions volcaniques