

RAPPORTS

sur les opérations géodésiques de l'Équateur en 1903, 1904 et 1905,
présentés à l'Académie des sciences au nom de la Commission chargée du
contrôle scientifique des opérations géodésiques de l'Équateur,

PAR

M. POINCARÉ.

Avec une carte.

1903.

La Commission chargée par l'Académie du contrôle scientifique des opérations géodésiques de l'Équateur s'est réunie, le 8 Mars 1904, 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.

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^o. — à l'achèvement des opérations du tronçon nord;
- 2^o. — aux observations géodésiques de la section Riobamba-Cuenca;
- 3^o. — aux observations astronomiques à Cuenca;
- 4^o. — aux observations magnétiques;
- 5^o. — 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'Equateur 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 circonstances 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 trois stations on a dû séjourner plus de 80 jours, dans onze 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 deux fois et un trois fois; dix huit incidents de cette nature ont obligé les opérateurs à revenir à douze 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°. — 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. | 6604,77 ^m |
| Base du Nord calculée. | 6604,83 |

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 climatiques 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 tout 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 3^e 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 prévisions 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 cotés du triangle auraient de 100 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 Dr. 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.

1904.

La Commission chargée du contrôle de l'expédition de l'Équateur s'est, comme les années précédentes, réunie pour entendre le rapport de M. le commandant BOURGEOIS sur les opérations de l'année 1904. Elle a eu le regret de constater que les conditions climatiques ne se sont pas améliorées et que le retard qui s'était produit dans les années précédentes s'est encore accentué. Il y a 2 ans, nous pouvions espérer qu'on pousserait jusqu'à Cuenca avant la fin de 1903; il y a 1 an, nous comptions encore qu'on atteindrait ce point vers le milieu de 1904. En réalité, c'est seulement en novembre que les stations qui entourent cette ville ont pu être terminées. Depuis, on n'a pas pu marcher plus rapidement, de sorte qu'au mois de janvier on était encore à Tinajillas et Narihuima, à 50 km et 80 km au sud de Cuenca.

Ces retards sont extrêmement fâcheux et nous devons d'abord en rechercher la cause. Les renseignements fournis par les indigènes avaient fait croire que la contrée au sud de Riobamba était moins brumeuse que celle du nord. Ces renseignements étaient inexacts; les indigènes, en effet, ne s'aventurent pas volontiers dans les hautes régions et n'en connaissent pas bien le climat; en outre, ils n'apprécient pas les conditions météorologiques au même point de vue que les géodésiens et s'inquiètent peu des visibilités à grandes distances. On a donc été obligé de séjourner aussi longtemps dans les nouvelles stations que dans les anciennes, les brumes s'opposant aux observations. Ces séjours prolongés à de grandes altitudes étaient d'ailleurs très pénibles pour le personnel. A Soldados, la foudre est tombée deux fois sur le campement. On était presque constamment entouré de nuages, et les officiers équatoriens, qui accompagnaient la mission et n'avaient jamais pénétré dans cette partie du pays, étaient étonnés d'y trouver un temps si constamment mauvais.

En revanche, d'autres incidents, qui avaient contribué à retarder les travaux dans les années précédentes, ne se sont heureusement pas reproduits. Il n'y a plus eu de destruction de signaux. Les efforts faits par le Gouvernement équatorien et le clergé local paraissent enfin avoir produit leurs fruits.

Malheureusement la santé du personnel a laissé à désirer, ce qui a occasionné aussi quelques retards. M. le capitaine PEYRONNEL, chef de la mission par intérim, a été atteint de fièvre et obligé d'interrompre son travail pendant plusieurs jours; les autres officiers, et en particulier M. le capitaine LALLEMAND et M. le docteur RIVET, ont été aussi fortement éprouvés. M. l'adjudant LALLEMAND, frappé par la fièvre jaune, a dû être rapatrié. Le personnel secondaire n'a pas été non plus épargné et plusieurs hommes ont été malades.

Enfin, les travaux ont subi, à la fin de l'année 1904, les retards imprévus par suite de la présence au Pérou de la peste bubonique qui a empêché la marche rapide des opérations de reconnaissance.

M. le capitaine MAUBAIN, malade, a quitté l'Équateur au mois de juin; il a été remplacé, comme chef par intérim de la mission, par M. le capitaine PEYRONNEL qui était arrivé depuis la fin de janvier 1904. M. le docteur RIVET, qui avait passé en congé les premiers mois de l'année 1904, a repris son poste à la fin de mai; on sait qu'il fournit à la mission un concours actif, non seulement comme médecin et comme naturaliste, mais encore comme observateur, M. MAUBAIN ne devant pas retourner en Amérique, M. le capitaine MASSENET qui doit le remplacer est arrivé le 22 février 1905; il a pris le commandement par intérim auquel son ancienneté lui donnait droit. D'autre part, M. le capitaine PEBBIER est parti en congé au commencement de décembre et il doit retourner en Équateur au mois de mai; il sera accompagné de M. le capitaine NOIREL, chargé spécialement des observations de pendule.

Triangulation. — On en était resté, à la fin de l'année précédente, au côté Danas-Sinigallay, à la hauteur du chemin de fer de Guayaquil; on en était, à la fin de 1904, au côté Tinajillas-Narihuima, à un degré environ plus au sud; on avait donc fait seulement 11 stations, sans parler des opérations astronomiques de Cuenca. Il est probable

que les stations de Chilla-Cocha et Fierro-Urcu sont aujourd'hui terminées et que nos observateurs sont actuellement à Guacha-Urcu et Colambo (latitude $4^{\circ} 20'$ environ, latitude de Payta $5^{\circ} 5'$). M. le capitaine PERRIER a fait la reconnaissance et la construction des signaux jusqu'à la frontière péruvienne. Les brigades se suivent maintenant parallèlement, de sorte que les opérations sur les deux chaînes est et ouest sont simultanées à la même hauteur. Deux points sont à signaler. Dans les quatre dernières stations, on a employé l'héliostat concurremment d'ailleurs avec les mires, les signaux ayant été préalablement construits par les reconnaissances. On a observé en effet que, dans cette région, malgré la fréquence des brumes, le Soleil brille dès que les nuages sont dissipés, en sorte que, à part les jours où la visibilité est nulle, l'emploi de l'héliostat est possible.

D'ailleurs, comme l'héliostat est doublé par la mire, comme nous venons de l'expliquer, on n'est pas exposé à perdre une journée favorable.

En second lieu, afin de rattraper autant que possible le temps perdu, le capitaine PEYRONNEL, chef par intérim en 1904, a cru devoir remplacer les triangles de 50 km de côté, qui avaient d'abord été prévus, par des triangles beaucoup plus grands de 100 km environ : le nombre des stations se trouvera donc considérablement diminué, mais en revanche on peut se demander si le nombre des jours de visibilité suffisante ne va pas diminuer dans la même proportion. Toutefois les officiers ont observé qu'en dehors des jours, malheureusement trop fréquents, où les nuages couvrent les sommets les plus rapprochés et où aucune opération n'est possible, la vue s'étend à de grandes distances. Nous ne pouvons que nous en rapporter à leur expérience du pays.

Nous devons observer que les dimensions de ces triangles devront être progressivement réduites à mesure qu'on s'approchera de la nouvelle base à mesurer, afin de faciliter le rattachement de cette base. D'un autre côté il va y avoir une assez brusque inflexion de la chaîne vers l'Ouest afin de rejoindre la côte à Payta et un brusque changement d'altitude au moment où l'on franchira la frontière péruvienne.

Astronomie. — Une station astronomique avait été installée à Cuenca. Les opérations furent terminées au mois d'avril. La longitude fut déterminée par M. MAURAIN à Cuenca et par M. PERRIER à Quito; la latitude et l'azimut l'avaient été antérieurement. Le nombre des déterminations à Cuenca est surabondant; à Quito le temps a été moins favorable, mais les déterminations sont amplement suffisantes, la marche de la pendule étant bien connue par les observations de M. GONNESSIAT.

Une station astronomique avait également été prévue vers le quatrième parallèle.

L'emplacement n'en est pas encore choisi; nous discuterons plus loin l'opportunité de la création de cette station.

La station astronomique principale de Payta doit surtout attirer notre attention; on y a déjà mesuré la latitude, il reste à y faire l'azimut et la longitude. Payta est relié à Cuenca par Machala, Chacras et les lignes péruviennes. On pourra donc mesurer, soit la différence Payta-Cuenca, soit la différence Payta-Quito.

Latitudes du troisième ordre. — On a continué à mesurer les latitudes en chacun des sommets de la triangulation. L'astrolabe CLAUDE-DRIENCOURT qui sert à ces opérations continue à donner toute satisfaction. Les officiers sont maintenant complètement familiarisés avec l'emploi de cet instrument. Il est intéressant de signaler que les latitudes de Souzahim et Yansaï ont été observées au théodolite et à l'astrolabe; les résultats calculés pour Yansaï accusent une différence insignifiante, 0",12 environ. Cette concordance justifie l'emploi exclusif de l'astrolabe dans la plupart des stations.

Nivellement de précision. — Le nivellement de précision est aujourd'hui terminé, sauf la traversée du Guayas. D'abord dirigé par M. l'adjudant LALLEMAND, il fut, après la maladie et le départ de ce sous-officier, confié au sergent LECOMTE, qui s'est acquitté de sa tâche d'une façon très satisfaisante.

Pendule. — Notre opinion sur l'importance des observations pendulaires n'a pas changé, et il importe d'autant plus de s'en occuper qu'elles ont été presque complètement laissées de côté jusqu'ici. Il aurait été à désirer, tant à ce point de vue que pour d'autres raisons, que M. le commandant BOURGEOIS pût retourner en Équateur. Mais malheureusement les nécessités du service en France ne le permettent pas. M. le capitaine NOIREL doit partir le 26 avril en emportant un appareil DEFFORGES. Cet officier est accoutumé aux mesures de gravité.

Rattachement de Machala. — Dès le début de la mission, on s'était rendu compte de la nécessité de mesurer la déviation de la verticale dans le sens est-ouest. Pour cela il fallait déterminer la différence de longitude géodésique et la différence de longitude astronomique d'un point de la côte et d'un point de la méridienne de Quito. Il fallait donc trouver sur la côte un point qu'il fût possible de relier à la chaîne, tant télégraphiquement que géodésiquement. On avait d'abord songé à Guayaquil qui est en communication télégraphique avec Quito, et qu'on pouvait joindre géodésiquement à la chaîne par l'intermédiaire de l'île de Puna. Toutefois le passage par l'île de Puna, outre qu'il aurait entraîné un certain nombre de stations supplémentaires, n'était pas sans présenter quelques difficultés.

La situation s'est heureusement modifiée par la construction d'une nouvelle ligne télégraphique. La station de Machala, petit port de mer, vers 4° de latitude Sud, est maintenant reliée au réseau télégraphique; d'autre part elle est visible de deux stations de la chaîne, celle de Narihuina et celle de Chilla Cocha; ces deux stations sont aujourd'hui terminées, la première certainement, la seconde probablement, et les visées ont pu être faites, grâce à la présence du sergent LECOMTE qui, après avoir terminé le nivellement, s'est rendu à Machala. Ce sous-officier est d'ailleurs en état de faire lui-même la mesure de l'angle Narihuina-Machala-Chilla Cocha de sorte qu'il ne resterait à faire en cette station que les opérations astronomiques.

Conclusions. — Les lignes précédentes ont montré quelles difficultés ont ren-

contrées nos officiers, quels efforts ils ont faits pour les surmonter et que la situation actuelle ne peut en aucune façon leur être imputée. Mais il n'en est pas moins vrai que cette situation est fâcheuse et il convient d'examiner les moyens d'y faire face.

Il n'y a, évidemment, que deux partis à prendre, ou bien arrêter le travail au moment où les ressources déjà votées seront épuisées, ou bien le poursuivre jusqu'au bout en se résignant aux sacrifices nécessaires. Ce n'est pas à nous, évidemment, qu'il appartient de décider, puisqu'une question de dépense est soulevée, mais nous pouvons du moins émettre un avis.

Jusqu'où les ressources actuelles nous permettraient-elles d'aller? Un examen minutieux de l'état des crédits a permis au Service géographique de répondre à cette question. Il faudrait:

1^o Raccourcir l'arc d'un degré environ, soit du sixième de sa longueur en s'arrêtant au voisinage du côté Guacha-Urcu-Colambo.

2^o Renoncer à mesurer la base du Sud avec un appareil de haute précision en se contentant d'un appareil plus léger.

En effet, l'arc n'étant pas poussé jusqu'au bord de la mer, il faudrait prendre l'emplacement de base dans les montagnes où l'emploi de la règle est impossible, d'autant que le transport de la règle dans ces régions entraînerait d'importantes dépenses.

3^o Supprimer les observations pendulaires.

4^o Renoncer au rattachement de Machala.

Il suffit d'énoncer ces conditions pour montrer qu'une pareille solution est inadmissible. Ce serait une véritable faillite; la France n'aurait fait qu'une œuvre incomplète, qui ne répondrait nullement aux promesses faites à l'Association internationale géodésique, et elle se verrait exposée à voir son travail inachevé repris par d'autres puissances. Nous verrons d'ailleurs que ce programme restreint entraînerait lui-même de grandes difficultés.

1^o Il est clair que le raccourcissement de l'arc diminue sa valeur scientifique. Il avait été question d'abord de le prolonger vers le Nord jusque sur le territoire colombien; ce premier projet ne put être exécuté par suite des événements politiques; on résolut alors de compenser la réduction nécessaire de la partie septentrionale par une prolongation correspondante de la partie méridionale, ce qui offrait en même temps l'avantage de pousser jusqu'à la mer, à Payta, où l'on devait trouver un emplacement très favorable pour la mesure des bases. Il s'agirait aujourd'hui de renoncer à cette prolongation.

2^o N'allant plus jusqu'à la mer, on n'aurait plus d'emplacement assez uni pour l'emploi des règles et la base du Sud y perdrait en précision, ce qui serait d'autant plus fâcheux que la base de vérification du Nord n'a pu non plus être mesurée qu'avec les fils. Mais ce n'est pas tout, et l'on peut se demander s'il sera même possible de trouver un emplacement se prêtant à la mesure d'une base par les fils. La région est, en effet, très accidentée et il n'y a rien de comparable à ce qu'on appelle plus au Nord la plaine interandine. De plus, les stations construites forment de grands triangles et, pour passer à une base de longueur raisonnable, il faudrait un assez grand nombre de stations intermédiaires si l'on veut que le rattachement se fasse avec quelque précision.

3° L'abandon des observations pendulaires serait plus déplorable encore. Nous n'avons pas à revenir sur les raisons qui ont été exposées dans les précédents rapports et qui démontrent l'importance des mesures de gravité. Rappelons seulement que jusqu'ici une seule station a été faite, celle de Riobamba.

4° Pour que la mesure de l'arc de méridien conserve toute sa valeur, il faut qu'on soit assuré que cet arc n'est pas altéré par un relèvement anormal du géoïde, dû à l'attraction des Andes. Or ce relèvement ne peut être évalué que de deux manières, ou bien par la comparaison des observations pendulaires, ou bien par la mesure des différences de longitude tant géodésiques qu'astronomiques entre un point de la côte et un point des Andes.

Si l'on renonce aux observations pendulaires, le premier moyen nous échappe, car la mesure unique effectuée jusqu'ici ne permet aucune comparaison. Si, d'autre part, on renonce au rattachement de Machala, le second moyen nous fait également défaut; dans le projet primitif la triangulation touchait la côte en deux points seulement, à Payta et à Machala et ces deux points seraient abandonnés.

Telles sont les raisons qui ne nous permettent pas de nous arrêter à la première solution. Il faut maintenant se rendre compte des dépenses supplémentaires qu'entraînerait l'adoption de la seconde. Les évaluations du service géographique les portent à 150 000 fr. Fort heureusement l'intervention d'un généreux donateur facilite beaucoup la solution et nous permet d'entrevoir un résultat digne de la France. Le prince ROLAND BONAPARTE met à la disposition du gouvernement de la République, à titre de fond de concours, une somme de 100 000 fr., à la condition que l'œuvre soit poussée jusqu'au bout. Les crédits nouveaux à demander au Parlement se réduiraient ainsi à 50 000 fr.

Il semble que, dans ces conditions, l'hésitation ne soit pas permise et qu'il y ait lieu de maintenir le plan primitif, et de rejeter définitivement le programme restreint dont nous avons montré plus haut les inconvénients: mais on pourrait encore se demander si une solution intermédiaire ne serait pas possible. Nous observerons d'abord qu'on épargnerait ainsi du temps, mais que les charges du budget ne seraient pas diminuées et se trouveraient même accrues, puisque le concours du prince ROLAND BONAPARTE ne nous est offert qu'en vue de l'achèvement de l'arc jusqu'à Payta. D'autre part, si le rattachement de Machala et les observations de pendule sont absolument indispensables pour estimer le relèvement du géoïde, le prolongement de l'arc jusqu'à la mer nous est également imposé par la difficulté de trouver un emplacement de base convenable dans la région montagneuse. D'ailleurs, des observations astronomiques ont déjà été faites en ce point par le capitaine MAURAIN. Ces considérations ne semblent pas permettre de s'arrêter à une solution intermédiaire.

Si l'on maintient les projets primitifs, il y a lieu de se demander à quel moment on peut espérer que l'exécution en sera achevée. A cet égard, nous devons nous en rapporter aux évaluations de M. le capitaine PERRIER qui a fait la reconnaissance des régions où l'on doit opérer, et qui par un long séjour en Équateur a acquis une grande expérience de ces contrées. Cet officier, estime qu'à la date du 1^{er} avril 1905, toutes les stations actuellement construites seront terminées, sauf les deux dernières où l'on ne peut opérer tant que les signaux des stations suivantes ne seront pas établis. Pendant les mois d'avril,

mai, juin, juillet deux des officiers opéreraient la reconnaissance du dernier tronçon de l'arc et y construiraient les signaux. Pendant ce temps les autres officiers feraient la station de Machala, y détermineraient la latitude, y feraient les observations de pendule, et mesureraient la différence de longitude Cuenca-Machala.

Les stations à construire seraient vraisemblablement au nombre de 10, y compris les termes de la base. M. PERRIER estime à 7 mois la durée des opérations géodésiques dans ces stations (avec deux brigades), de telle sorte que ces opérations seraient terminées en février 1906.

Pendant ce temps, deux autres officiers se rendraient à Guacha-Urcu et Colombo, les deux dernières stations actuellement construites; ils y feraient la géodésie et deux latitudes au cercle méridien, ce qui les mènerait à la fin d'octobre. Ils feraient ensuite la différence de longitude Colombo-Cuenca qui serait terminée à la fin de l'année 1905.

On aurait pu se demander si l'on n'aurait pas pu supprimer cette station astronomique de Colombo; mais on doit observer d'une part que ce point est à une altitude très différente de celles de Machala et Payta, et qu'il importe d'avoir une détermination astronomique d'un point situé à la fois dans la partie sud de l'arc et dans la région montagneuse, et d'autre part que les opérations ne s'en trouveront pas retardées, puisque, d'après l'exposé qui précède, les officiers qui procéderont à cette détermination ne pourraient pas facilement être utilisés ailleurs à ce moment.

De fin décembre à fin mars, on installera la station de Payta et l'on fera la différence de longitude Payta-Machala.

Enfin, de fin mars au milieu de mai, on mesure la base de Payta, d'une part avec trois fils JÄDERIN en métal invar avec réglottes en invar et poids tenseurs, d'autre part avec la règle bimétallique BRUNNER ou mieux avec la nouvelle règle en métal invar.

Pendant ce temps, M. le capitaine NOIREL, opérant indépendamment, ferait les déterminations pendulaires.

Si ce plan pouvait être exécuté, tout serait terminé au mois de mai 1906. M. le capitaine PERRIER, instruit par l'expérience, a fait les évaluations de temps d'une façon aussi large que possible. Néanmoins nous avons déjà été si souvent déçus que l'on pourrait conserver quelques craintes de voir ce délai dépassé. Ce qui toutefois doit nous rassurer, c'est que l'on va décidément sortir de la Cordillère pour entrer dans la région péruvienne où les conditions climatériques sont très différentes. Le retard, s'il s'en produit un, ne serait que de quelques semaines. Le calcul des crédits a d'ailleurs été fait dans l'hypothèse où les opérations dureraient jusqu'à la fin du premier semestre 1906, et les officiers croient pouvoir nous garantir que cette date ne sera pas dépassée.

Quoi qu'il en soit, il nous semble qu'il y a lieu d'approuver le plan qui nous est proposé. En terminant, adressons nos remerciements aux vaillants Français dont le courage et la persévérance ne se sont jamais démentis, et aussi au prince ROLAND BONAPARTE dont la généreuse intervention nous aidera à atteindre le résultat désiré.

1905.

Le dernier rapport sur la mission de l'Équateur a été présenté à l'Académie le 10 avril 1905; il faisait connaître l'état des travaux au 1^{er} janvier 1905 et il faisait prévoir l'achèvement des travaux au mois de mai 1906. Ces prévisions se sont heureusement réalisées et l'on a pu mener à bonne fin l'œuvre entreprise sans dépasser les crédits alloués.

Le 1^{er} janvier 1905, il restait à faire la partie sud de la chaîne depuis les stations de Fierro-Urcu et Chilla-Cocha (soit 16 stations en y comprenant les termes de la base et les sommets du rattachement), à mesurer les différences de longitude Machala-Cuenca, et Payta-Machala, à mesurer la base de Payta à la règle et aux fils, et enfin à faire les observations pendulaires.

M. le capitaine MASSENET, qui devait prendre le commandement de la mission, débarqua le 22 février 1905; malheureusement, cet officier si distingué et si plein de zèle nous fut enlevé le 2 octobre par les suite d'une fièvre typhoïde. Ce fut une perte cruelle pour la mission. Le gouvernement équatorien saisit cette occasion pour nous témoigner des sympathies dont nous devons lui être très reconnaissants. La mort de ce géodésien, qui nous avait déjà en peu de temps rendu de si grands services, et qui a péri victime de son dévouement à la Science, a excité dans l'armée et dans le monde savant des regrets unanimes, auxquels l'Académie a déjà tenu à s'associer en lui décernant un de ses prix.

Peu de temps après, le capitaine LALLEMAND, qui était attaché à la mission depuis le début des travaux, sentant sa santé s'altérer, fut obligé de demander son rappel. On envoya pour les remplacer M. le commandant DE FONLONGUE, qui prit le commandement, et M. le capitaine DURAND. D'un autre côté, M. le capitaine NOIREL, chargé des observations pendulaires, débarqua à Guayaquil, le 29 mai 1905.

Opérations géodésiques. — Les dernières stations ont été faites d'abord par MM. PEYRONEL et LALLEMAND; ce dernier officier, obligé de demander son rappel, dut être remplacé par M. PERRIER, puis par M. DURAND.

Les obstacles qui avaient tant retardé les opérations dans le Nord ne se sont plus représentés dans la même mesure. Il n'y a plus eu de destruction de signaux. Les brouillards ont été encore gênants tant qu'on a été dans les montagnes; mais, en arrivant dans la plaine, on a trouvé un climat tout différent; on en a profité pour augmenter les dimensions des triangles, ce qui a accéléré la marche des travaux. En revanche, le vent soulevait des tourbillons de sable qui rendaient les observations impossibles pendant une grande partie de la journée. Comme l'atmosphère était au contraire remarquablement limpide pendant la nuit, on a fait venir des appareils de télégraphie optique, et les opérations purent alors être poursuivies sans difficulté spéciale.

Signalons la variation brusque d'altitude subie par la chaîne au moment du passage du territoire équatorien sur le territoire péruvien. Un des triangles a un sommet à 3100 m, un à 2400 m et un à 400 m; le triangle suivant, qui a ces deux derniers sommets communs avec le précédent, a son troisième sommet à 450 m. Il y aura lieu de tenir compte de

cette circonstance lors du calcul définitif. Ajoutons que la latitude a été prise en chacune de ces stations, ce qui permettra de se rendre compte de la déviation de la verticale.

Base de Payta. — Le commandant DE FONLONGUE, après s'être rendu à Lima pour présenter ses devoirs aux membres du gouvernement péruvien, a débarqué à Payta et a exécuté les opérations géodésiques dans les diverses stations du rattachement de la base du Sud. Il a ensuite dirigé la mesure de cette base. Cette mesure a été grandement facilitée par le nombre considérable d'auxiliaires, tant civils que militaires, mis gracieusement à la disposition de nos missionnaires par le gouvernement péruvien.

La base a été partagée en deux segments; le segment Est a été mesuré deux fois et le segment Ouest une fois à la règle monométallique invar. On a procédé également à des mesures avec trois fils JÄDERIN en métal invar. Chacun des segments a été mesuré deux fois avec chacun des trois fils. Ces diverses mesures ont présenté de faibles discordances dont la discussion n'est pas encore terminée. Cette discussion, sur laquelle nous reviendrons dans un rapport ultérieur, nous renseignera sans aucun doute sur les précautions que l'on doit prendre dans l'emploi des fils JÄDERIN si l'on veut arriver à une haute précision. Elles ne doivent pas en tous cas nous inquiéter en ce qui concerne le résultat final, puisque, d'une part, elles sont de l'ordre de grandeur de l'erreur à laquelle on doit s'attendre dans la comparaison d'une base mesurée à une base calculée et que, d'autre part, les deux segments ont été mesurés à la règle qui présente toutes les garanties désirables.

La base Sud se trouvant à proximité de la mer, on a exécuté un nivellement de précision (aller et retour), entre le terme Ouest de la base et l'apponement de Payta où était installé un médimarémètre et entre ce dernier point et l'Observatoire de la station astronomique.

Signalons la différence entre les trois bases, celles du Nord et du Centre étant à 2800 m au-dessus de la mer, et celle du Sud presque au niveau de la mer.

Longitudes. — Il restait à effectuer deux différences de longitude pour rattacher Payta et Machala à Cuenca; l'état des lignes télégraphiques n'a pas permis de fermer le triangle.

Observations de pendule. — Les observations pendulaires ont été dirigées par M. le Capitaine NOIREI, qui dut momentanément les interrompre quand il lui fallut remplacer le Commandant MASSENET, malade à la station astronomique de Cuenca; les troubles politiques qui agitèrent un moment la république équatorienne gênèrent également ses travaux; il put néanmoins faire cinq stations judicieusement choisies et suffisantes par conséquent pour nous donner une idée de la façon dont varie la gravité dans les différentes zones de la Cordillère.

Résumé. — L'ensemble des travaux comprend:
74 stations géodésiques.

3 bases.

8 différences de longitude, reliant entre elles les stations de Tulcan, Piullar, Quito, Latacunga, Riobamba, Cuenca, Machala et Payta; les cinq premières stations sont régulièrement espacées sur le tronçon Nord; la sixième au milieu du tronçon Sud; la septième à la même hauteur et sur le bord de la mer; la dernière à l'extrémité du tronçon Sud et au bord de la mer.

La comparaison des différences de longitude géodésique et astronomique entre les stations de Machala et Payta, d'une part, et celle de Cuenca, d'autre part, nous renseignera sur le relèvement du géoïde dans le sens EW, puisque les deux premières stations sont au bord du Pacifique et la troisième dans la région interandine.

6 azimuts, à Tulcan, Piullar, Quito, Riobamba, Cuenca, Payta.

64 déterminations de latitude, dont 10 au cercle méridien par distances zénithales méridiennes, 44 au théodolite à microscopes par distances zénithales circumméridiennes, 10 à l'astrolabe à prisme.

Les seules stations géodésiques où la latitude n'ait pas été déterminée sont dans la partie moyenne de l'arc entre Quito et Riobamba.

48 stations magnétiques réparties sur toute la longueur de la chaîne.

6 stations de pendule. Après la détermination faite par M. BOURGEOIS à Riobamba, cette partie des travaux avait été laissée de côté; elle a pu être reprise dans la dernière année des opérations, grâce à l'arrivée de M. NOIRKL. Les stations ne sont pas nombreuses; elles sont situées dans la partie moyenne de la chaîne entre les latitudes 0 et — 3; mais elles sont d'ailleurs très heureusement choisies, en ce sens qu'elles sont réparties de façon à nous donner une coupe transversale complète de la Cordillère.

L'une, celle de Machala, est au bord de la mer, en un point où il y a eu une détermination de longitude; vient ensuite Bucay, au pied de la Cordillère W, puis Chimborazo, à l'altitude de 4150 m dans la Cordillère W (pour cette dernière la correction topographique devra être faite avec soin).

On a deux stations dans la région interandine à Riobamba et à Quito, et enfin, on a une sixième station à Baños, à l'altitude de 1800 m dans la plaine de l'Amazone, de l'autre côté de la Cordillère E.

2 lignes de nivellement de précision, allant l'une de la base de Riobamba à Guayaquil et de là au médimarémètre de Salinas sur la côte du Pacifique, et l'autre de la base du Sud au médimarémètre de Payta. L'ensemble de ces deux lignes comprend plus de 410 km.

Enfin, M. le Dr. RIVER qui, tout en dirigeant le service de santé de la Mission et en prenant personnellement part aux opérations géodésiques proprement dites, s'était occupé d'étudier le pays au point de vue de l'histoire naturelle, a rapporté d'importantes collections que nous avons pu admirer au Muséum où elles ont été récemment exposées. Ces collections présentent le plus grand intérêt, non seulement pour la Botanique et la Zoologie, mais surtout pour l'Anthropologie et l'Ethnographie.

Calcul provisoire. — Le calcul provisoire est, dès aujourd'hui, assez avancé

pour qu'on soit assuré de la valeur des observations. La fermeture des triangles et la concordance des bases calculées et mesurées semblent devoir être comparables à ce qu'elles sont dans la revision de la méridienne de France. Nous reviendrons, dans un Rapport ultérieur, sur le résultat de ce calcul provisoire lorsqu'il sera terminé.

Publication. — Le Service géographique de l'Armée est en mesure d'assurer le calcul provisoire et définitif des observations. Mais la publication des résultats nécessitera certaines dépenses, et il n'est pas douteux que les Pouvoirs publics ne nous fournissent les moyens de les couvrir. Cette publication sera divisée en deux parties, qui entraîneront des frais à peu près égaux : la première partie comprendra les résultats des observations géodésiques, astronomiques et magnétiques, et la seconde partie ceux des recherches biologiques. Les personnes qui ont visité les belles collections exposées au Muséum ne s'étonneront pas du développement attribué à cette seconde partie. Les espèces nouvelles, surtout pour les insectes, sont nombreuses et devront être reproduites par des planches, souvent coloriées. L'ensemble des résultats est d'un haut intérêt et fait le plus grand honneur à la Science française et au Corps de santé de l'Armée.

En constatant ici l'heureuse issue de l'expédition, nous croyons devoir rendre hommage au dévouement, au courage et à l'endurance des officiers, sous-officiers et soldats français qui l'ont menée à bien sous un climat pénible et dans les circonstances difficiles exposées dans nos précédents Rapports, ainsi qu'à l'habileté et à la science des opérateurs qui ont accompli une œuvre scientifique de premier ordre. Nous devons remercier les Gouvernements équatorien et péruvien de l'appui pécuniaire et moral qu'ils nous ont prêté et de la bonne volonté qu'ils n'ont cessé de nous témoigner. Signalons également le zèle des officiers équatoriens et péruviens qui ont été pour nous des collaborateurs très utiles. Qu'il nous soit permis en terminant de rappeler le rôle de notre confrère, le prince ROLAND BONAPARTE, et de dire combien sa généreuse initiative a facilité le succès final de l'entreprise. Mais notre reconnaissance va surtout au Parlement français, qui a compris l'importance de cette œuvre au double point de vue scientifique et patriotique, et qui ne nous a jamais marchandé les crédits nécessaires, bien que, par suite de difficultés inattendues, les prévisions primitives aient été notablement dépassées.