

COMPAGNIE NOUVELLE

CANAL DE PANAMA

Commission instituée en exécution de l'article 75 des Statuts



RAPPORT DE LA COMMISSION

PARIS

SOCIÉTÉ ANONYME DE PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

P. MOUILLOT, Imprimeur

13, QUAI VOLTAIRE, 13

1899

COMPAGNIE NOUVELLE DU CANAL DE PANAMA

Commission instituée en exécution de l'article 75 des Statuts

RAPPORT DE LA COMMISSION

g. f. 729.

COMPAGNIE NOUVELLE
DU
CANAL DE PANAMA

SOCIÉTÉ ANONYME
Au Capital de 65 millions de francs

SIÈGE SOCIAL : 7, RUE LOUIS-LE-GRAND, PARIS



Commission instituée en exécution de l'article 75 des Statuts

RAPPORT DE LA COMMISSION

INVENTAIRE
n° 50900

PARIS
SOCIÉTÉ ANONYME DE PUBLICATIONS PÉRIODIQUES
P. MOUILLOT, Imprimeur
13, QUAI VOLTAIRE, 13

1899

TABLE DES MATIÈRES

| | Pages |
|---|-------|
| Lettre d'envoi du Rapport. | 7 |
| Exposé. | 9 |
| CHAPITRE I. — Résumé historique. | 11 |
| — II. — Des droits et obligations de la Compagnie nouvelle. | 18 |
| — III. — Situation actuelle. | 21 |
| — IV. — Visite des travaux par la Commission. | 23 |
| — V. — Description topographique. | 29 |
| — VI. — Géologie. | 31 |
| — VII. — Climatologie de l'Isthme. | 40 |
| — VIII. — Régime des cours d'eau. | 52 |
| — IX. — Projet d'exécution. | 59 |
| — X. — Résumé et conclusions. | 74 |

ANNEXES

| | |
|---|-----|
| ANNEXE N ^o I. — Etude géologique sur l'Isthme de Panama. | 83 |
| — II. — Les phénomènes volcaniques et les tremblements de terre de l'Amérique centrale. | 107 |
| — III. — Note sur les produits agricoles de la Colombie. | 121 |

PLANCHES

| | |
|--|-----|
| PLANCHE N ^o 1. — Plan général du Canal. Echelle de $\frac{1}{100.000}$ | 131 |
| — 2. — Profil en long et profils en travers du Canal. Echelle de $\frac{1}{100.000}$ | 132 |
| — 3. — Coupe géologique du Canal. | 133 |
| — 4. — Carte des volcans de l'Amérique centrale. | 134 |
| — 5. — Lignes de plissement et de volcans de l'Amérique centrale. | 135 |

Paris, le 28 février 1899.



*A Monsieur le Liquidateur de l'ancienne Compagnie
du Canal Interocéanique.
A Monsieur le Président du Conseil d'administration de la
Compagnie Nouvelle du Canal de Panama.*

MESSIEURS,

J'ai l'honneur de vous adresser le rapport de la Commission formée en exécution de l'art. 75 des statuts de la Compagnie nouvelle du Canal de Panama : le dépôt de ce rapport met fin à la mission qui a été donnée à cette Commission.

Veillez agréer, Messieurs, l'assurance de ma haute considération.

Le Président de la Commission,
Paul ETIENNE.

COMPAGNIE NOUVELLE DU CANAL DE PANAMA

Commission instituée en exécution de l'article 75 des Statuts

RAPPORT DE LA COMMISSION

EXPOSÉ

La Commission instituée par l'art. 75 des statuts de la Compagnie nouvelle du Canal de Panama, dont nous faisons connaître plus loin les dispositions, se compose de :

MM. Paul ETIENNE, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, *président* ;
Général ABBOT, Colonel du génie en retraite, des Etats-Unis d'Amérique ;
Joseph BARBA, ancien Ingénieur de la Marine ; ancien ingénieur en Chef des Usines du Creusot ;
Marcel BERTRAND, Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Mines, professeur de Géologie à l'Ecole Nationale supérieure des Mines ;
Philippe ZÜRCHER, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Nous croyons nécessaire de rappeler les événements qui ont abouti à la constitution de cette Commission. Un simple résumé chronologique suffit au but

que nous avons en vue, celui d'indiquer l'origine et le rôle d'une Commission nouvelle, chargée après toutes les autres d'étudier le problème de la création d'un canal maritime à travers l'Isthme américain. Cette question est grande par le but à atteindre, par l'exécution de travaux sans précédents dans l'histoire de l'humanité, par l'intérêt qu'elle présente au point de vue économique et au point de vue technique, intérêt qui a pris un caractère tout particulier d'actualité par les événements qui se sont accomplis depuis un an et semblent devoir transformer la situation politique du Nouveau Monde.

CHAPITRE PREMIER



Résumé historique.

Le problème du passage par mer de l'Atlantique au Pacifique s'est posé dès la découverte de l'Amérique. Les premiers navigateurs ont cru à son existence, et en 1534, Charles-Quint écrivait à Cortez pour lui recommander de résoudre le secret du détroit qui devait séparer les deux parties du Nouveau Continent. Lorsqu'on reconnut enfin que ce passage n'existait pas, l'idée de le créer devait naître et se développer.

Pour communiquer d'un océan à l'autre, on remontait le Chagres jusqu'à Cruces, et de là, on gagnait la côte du Pacifique par un sentier qui traverse la forêt des Cordillères. Nous avons encore vu, au-dessus de Cruces, des ancres de navires, des canons enfouis dans la terre, qui y ont été abandonnés dans l'impossibilité où l'on s'est trouvé de les transporter plus loin.

C'est seulement de notre siècle que date l'exploration scientifique de la région en vue de l'établissement d'un canal maritime. De nombreuses solutions ont été proposées ; elles ont pour la plupart été reconnues irréalisables, et il ne reste aujourd'hui en présence que deux tracés : l'un par Colon, le col de la Culebra et Panama, dans la Colombie ; l'autre par San-Juan del Norte, le lac de Nicaragua et Brito, sur le Pacifique.

En 1871, la question fut examinée par le Congrès des sciences géographiques à Anvers et en 1875, ce même Congrès, réuni à Paris, émit le vœu suivant :

« Le Congrès exprime le vœu que les Gouvernements intéressés à l'ouverture d'un Canal interocéanique, en poursuivent les études avec le plus d'activité possible, et s'attachent aux tracés qui présentent à la navigation les plus grandes facilités d'accès et de circulation. »

La Société de Géographie Commerciale de Paris poursuit la solution du

problème posé et constitua, le 24 mars 1876, pour l'étude du percement d'un Canal interocéanique, un Comité ainsi composé :

Président : M. F. DE LESSEPS.

Vice-Présidents : MM. l'Amiral DE LA RONCIÈRE LE NOURY et MEURAND.

Membres : MM. DAUBRÉE, LEVASSEUR et DELESSE (de l'Institut), le Comte FOUCHER DE CAREIL, MALTE-BRUN, COTARD, MAUNOIR, HERTZ (Charles).

Secrétaire : M. BIONNE.

En même temps, MM. le général TÜRRE et Lucien-Napoléon BONAPARTE-WYSE créèrent une Société civile qui organisa une expédition chargée de faire des études sur le terrain.

Au mois de mai 1878, M. L.-N.-B. WYSE, au nom de cette Société civile, obtint du Gouvernement de Colombie la concession du canal maritime à ouvrir sur le territoire de ce pays. Le contrat Salgar Wyse porte la date du 20 mars, et la loi qui lui donne l'homologation la date du 18 mai 1878.

Aux termes de ce contrat, le canal devait être terminé et ouvert en douze ans, à partir de la date de la formation de la Compagnie anonyme chargée de sa construction. Le pouvoir exécutif était autorisé à octroyer une prorogation maximum de six années.

La Compagnie anonyme ayant été constituée définitivement le 31 janvier 1881, le canal devait être livré au service public le 31 janvier 1893, sauf prorogation par le Gouvernement colombien jusqu'au 31 janvier 1899.

Le Comité d'études organisa un Congrès international d'études du Canal interocéanique composé de 135 membres, qui a tenu ses séances à Paris, du 15 au 29 mai 1879. Ce Congrès se divisa en cinq commissions chargées plus spécialement d'examiner les questions classées sous les titres ci-après :

- 1° Statistique ;
- 2° Questions économiques et commerciales ;
- 3° Navigation ;
- 4° Questions techniques ;
- 5° Voies et moyens.

En séance plénière, le Congrès vota la proposition suivante :

« Le Congrès estime que le percement d'un canal interocéanique à niveau constant, si désirable dans l'intérêt du commerce et de la navigation, est

« possible, et que ce canal maritime, pour répondre aux facilités indispensables d'accès et d'utilisation que doit offrir avant tout un passage de ce genre, devra être dirigé du golfe de Limon à la baie de Panama. »

Sur 98 votants, on compte 78 oui, 8 non et 12 abstentions.

Dans les opposants, nous devons signaler M. Kleitz, Inspecteur général des ponts et chaussées, qui a cru devoir réserver la faculté de construire un canal à écluses, dans le cas où l'établissement d'un canal à niveau donnerait lieu à de trop grandes difficultés.

Le Congrès évaluait la durée de la construction d'un canal à niveau à douze années et la dépense correspondante à 1.200.000.000 francs, y compris 130.000.000 francs d'intérêts intercalaires.

M. F. de Lesseps accepta de se placer à la tête de la nouvelle entreprise.

On essaya une première fois de créer une Société, au capital de 400 millions de francs, représenté par 800.000 actions de 500 francs.

Une souscription publique ouverte les 6 et 7 août 1879 ne réussit pas.

M. de Lesseps s'embarqua alors pour Colon à la fin de 1879, accompagné d'une Commission technique internationale. Aux termes de l'article 1^{er} de la loi de concession, cette Commission devait faire les études définitives sur le terrain et fixer le tracé du canal. Dès le 14 février 1880, cette Commission arrêtait les conclusions de son rapport. Le devis des travaux proprement dits s'élevait à 843 millions de francs, et la durée de leur exécution était évaluée à huit ans. C'était, sur les évaluations du Congrès international, une réduction de 200 millions sur les dépenses et de quatre années sur le temps d'exécution.

Par acte passé à Paris le 20 octobre 1880, une Société anonyme fut formée sous la dénomination de *Compagnie universelle du Canal interocéanique de Panama*.

Aux termes de l'article 8 des Statuts, le fonds social a été fixé à 300 millions de francs, divisé en 600.000 actions de 500 francs chacune.

Une émission fut ouverte les 7, 8 et 9 décembre 1880. Cette fois, le capital émis fut couvert deux fois.

Dès le courant de l'année 1881, une Commission supérieure consultative fut constituée pour donner son avis sur tous les projets, et les travaux furent entrepris.

Le Canal avait son origine dans la baie de Limon, à Colon, sur l'Atlantique, suivait la vallée du Chagres jusqu'à Obispo, traversait la chaîne des Cordillères du kilomètre 45 au kilomètre 56, et au delà, se développait dans la vallée du

Rio Grande jusqu'aux grands fonds du Pacifique, dans la baie de Panama.

La longueur du tracé était de 74 kilomètres ; la largeur du canal au plafond était prévue à 22 mètres, et la profondeur à 9 mètres.

Un grand barrage était projeté à Gamboa pour régulariser le débit du Chagres dont les eaux devaient être conduites à la mer par des dérivations ouvertes latéralement au canal.

Nous n'avons pas à exposer ici comment les travaux furent conduits ni les différents systèmes suivis pour leur exécution ; nous devons seulement, croyons-nous, nous borner à rappeler qu'ils devaient être terminés avant la fin de l'année 1888 et que c'est au cours de l'année 1886 que devint manifeste l'impossibilité d'avoir achevé, dans les délais prévus, le canal tel qu'il était projeté, c'est-à-dire, à niveau.

En janvier 1887, la question du canal à écluses fut posée devant la Commission supérieure consultative. Un nouveau projet, qu'on appela projet d'un canal provisoire à écluses, fut dressé.

Son tracé ne différait pas du tracé du canal à niveau. Le plan d'eau du bief de partage était fixé à la cote 49^m et l'alimentation de ce bief devait se faire au moyen de machines élévatoires.

Nous n'entrerons pas dans l'examen des combinaisons financières qui furent tentées pour achever, d'après le nouveau projet, l'œuvre commencée ; il nous suffira de dire que ces combinaisons n'ont pas abouti.

La situation devenait critique, et M. de Lesseps et ses collaborateurs résolurent de se retirer ; le 14 décembre 1888, M. de Lesseps demanda à M. le Président du Tribunal civil de la Seine la nomination d'administrateurs provisoires.

Par un jugement du 15 décembre, le Tribunal désigna MM. Denormandie, Baudelot et Hue comme administrateurs provisoires ; le 26 janvier 1889, une réunion générale des actionnaires aboutit à la nomination d'un liquidateur judiciaire de la Société, et conformément au vœu de cette réunion, M. Joseph Brunet fut nommé, par jugement du 4 février 1889, liquidateur judiciaire de la Compagnie universelle du Canal interocéanique.

Ce jugement donnait au liquidateur les pouvoirs les plus étendus, « notamment pour céder ou apporter à toute Société nouvelle tout ou partie de l'actif social, pour passer ou ratifier avec les entrepreneurs du canal de Panama tous accords ayant pour but d'assurer la continuation des travaux et pour, à cet effet, contracter tous emprunts et constituer tous nantissements. »

Le liquidateur, M. Brunet, constitua sous la présidence de M. Guillemain,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées, une Commission d'Etudes chargée de procéder à une enquête sur la situation des travaux.

Cette Commission envoya une délégation dans l'Isthme en décembre 1889 et déposa à la date du 5 mai 1890 un rapport qui présente une étude remarquable des travaux dont l'exécution permettrait l'ouverture du canal.

A la suite du dépôt du rapport de la Commission d'Etudes, le Liquidateur chargea M. Lucien-Napoléon Bonaparte-Wyse de se rendre à Bogota et de négocier avec le Gouvernement Colombien une prorogation du délai primitivement imparti pour l'achèvement du canal. Cette négociation aboutit au traité du 10 décembre 1890 qui accorde une prorogation de dix années.

Sans donner ici de détails sur le fonctionnement de la liquidation, nous rappellerons que M. Monchicourt après avoir succédé à M. Brunet, décédé, eut à son tour pour successeur M. Gautron qui exerce encore actuellement les fonctions de Liquidateur. Jusqu'en 1894, toutes les tentatives faites pour reconstituer la Société échouèrent ; enfin, le 26 juin 1894 les statuts de la Compagnie nouvelle du Canal de Panama purent être déposés, et la Société fut définitivement constituée par les Assemblées générales extraordinaires des 4 et 20 octobre 1894.

Le Capital social se compose de 650.000 actions de 100 fr. chacune, dont 50.000 entièrement libérées furent remises au Gouvernement Colombien, en exécution des lois et contrats de prorogation et 600.000 payées en espèces.

L'actif de l'ancienne Compagnie fut apporté à la Compagnie nouvelle, sous les conditions définies par les Statuts. Les dispositions relatives à cette cession de l'actif furent homologuées par le Tribunal civil de la Seine.

Le liquidateur de l'ancienne Compagnie a conservé son encaisse et les bons à lots : mais il a cédé à la Compagnie nouvelle tous les droits résultant des contrats de concession, les travaux exécutés dans l'Isthme, ainsi que le matériel, les immeubles, les installations, les plans et études et tous documents, enfin les actions du Panama-Rail-Road que possédait l'ancienne Compagnie, le tout conformément aux stipulations indiquées dans les Statuts qui déterminent également les conditions dans lesquelles les bénéfices doivent être répartis.

Le Conseil d'Administration est composé de 9 membres au moins et de 15 au plus, nommés par l'Assemblée Générale pour 6 ans et se renouvelle par tiers tous les deux ans ; il est ainsi composé :

MM. BONNARDEL, O. ✱, Administrateur de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, *Président*.

BAILLET, juge au Tribunal de Commerce d'Orléans.

BRÖLEMANN, ✱, Administrateur du Crédit Lyonnais, Président du Crédit Foncier Franco-Canadien.

CHANOVE, Administrateur délégué de la Société des Forges et Aciéries de Huta-Bankowa.

JONQUIÈRE, ancien Inspecteur des Domaines.

LE BÈGUE, Administrateur de la Société Générale, ancien Directeur de la Succursale de la Banque de France à Nancy.

MÉLIODON, O. ✱, Administrateur du Comptoir National d'Escompte de Paris.

RAMET, ancien Président du Tribunal de Commerce de Rennes.

DE SAINT-QUENTIN, Administrateur du Crédit Industriel et Commercial.

SOUCHON, Administrateur de la Société des Houillères de Saint-Étienne.

La constitution de la Compagnie nouvelle fut notifiée en temps voulu au Gouvernement Colombien, qui reconnut officiellement que cette Compagnie remplissait toutes les conditions prescrites par les lois de concession et de prorogation.

L'art. 75 des statuts porte que « lorsque les dépenses faites atteindront environ la moitié du Capital Social, une commission technique spéciale se prononcera sur les résultats acquis par les travaux déjà exécutés et sur les conséquences à en tirer pour les suites de l'Entreprise » : cette commission doit être composée de deux membres désignés par le Conseil d'Administration de la Compagnie nouvelle, de deux membres désignés par le Liquidateur de l'ancienne Compagnie ; ces quatre membres en désignent un cinquième qui est Président de la Commission.

Les dépenses réalisées conformément aux prescriptions de l'article 75 précité s'élevaient au 30 juin 1898, date de la clôture du dernier exercice, à 28.537.298 fr. 88.

C'est par application de cet article que la présente Commission a été constituée.

Il n'entre pas dans son rôle de donner aucune appréciation, ni de porter aucun jugement sur les événements accomplis ; nous avons dû seulement jeter

un rapide coup d'œil sur le passé pour faire comprendre sa raison d'être et dans quelles conditions elle a été formée. Nous croyons cependant devoir rappeler la ténacité dont ont fait preuve, dans les circonstances les plus difficiles, les différents liquidateurs qui se sont succédé et ont entrepris de sauvegarder les intérêts qui leur étaient confiés en assurant à l'œuvre du percement de l'Isthme les moyens d'être poursuivie.

CHAPITRE II

Des droits et obligations de la Compagnie Nouvelle.

Nous devons essayer de définir et de préciser la situation faite à la Compagnie nouvelle par les lois et contrats qui sont intervenus.

La Compagnie possède les droits accordés par la loi de concession du 18 mai 1878 qui a approuvé le contrat passé entre M. Salgar, Ministre de l'Intérieur et des Relations extérieures des Etats-Unis de Colombie, et M. Lucien-Napoléon Bonaparte-Wyse, délégué de la Société Civile internationale du Canal interocéanique présidée par le général Etienne Türr.

D'après le § 4 de l'art. 1^{er} de cette loi, la durée du privilège est de 99 ans à compter du jour où le canal sera ouvert. Le § 5 fixe le délai dans lequel le canal doit être terminé et livré au service public. Nous avons déjà fait connaître qu'aux termes de ce paragraphe, l'ancienne Compagnie ayant été formée définitivement le 31 janvier 1881, le canal aurait dû être livré au service public le 31 janvier 1893 : d'après le même article, le Pouvoir exécutif était autorisé à octroyer une prorogation maximum de six autres années en cas de force majeure indépendante de la volonté de la Compagnie et si, après la construction de plus du tiers du canal, celle-ci reconnaissait l'impossibilité de compléter l'œuvre dans les susdites douze années.

Comme il est dit plus loin, ces dispositions sont modifiées par les contrats du 10 décembre 1890 et 4 avril 1893. D'après les § 7 et 8, il est concédé à la Compagnie toutes les terres domaniales nécessaires à la construction du canal et en plus une bande de 200 mètres de largeur sur chacun de ses côtés.

L'art. 4 stipule qu'il sera adjugé aux concessionnaires, comme aide pour l'exécution de l'œuvre, 500.000 hectares de terres domaniales, avec les mines qu'elles peuvent contenir, dans les localités que la Compagnie choisira.

L'art. 5 déclare neutres en tout temps les ports de l'une ou l'autre extrémité du canal, et les eaux de celui-ci de l'une à l'autre mer.

L'art. 14 autorise la Compagnie à percevoir des droits, sous les réserves que ces droits seront établis sans aucune exception ni faveur sur tous les navires dans des conditions identiques, et fixe le maximum, pour le droit principal de navigation, à 10 francs par mètre cube résultant de la multiplication des dimensions principales de la carène immergée du navire transitant (longueur, largeur et tirant d'eau).

L'art. 15 détermine la participation du Gouvernement Colombien, participation variant entre 5 0/0 et 8 0/0 du produit brut; dans aucun cas, elle ne peut être inférieure à la somme de 1.250.000 francs.

Les cas où la concession deviendrait caduque sont énumérés dans l'art. 22.

Les contrats de prorogation du 10 décembre 1890 et 4 avril 1893 ont maintenu la loi de concession dans toutes ses dispositions principales.

L'art. 3 du contrat de 1893 stipule que, en compensation de la prorogation et pour indemniser le Gouvernement des avantages qu'il cesse de réaliser par ce motif, le concessionnaire reconnaît en faveur de la République Colombienne une créance totale de 12 millions de francs, sans compter les 5 millions de francs en dix mille actions précédemment stipulés.

De ces 12 millions, est déduite la somme de 4 millions due à la Compagnie en liquidation pour le prêt de 1883, ses intérêts, divers services et matériaux fournis, de sorte que la somme que la nouvelle Compagnie doit payer au Gouvernement est réduite à 8 millions.

En ce qui concerne l'importante question du délai d'exécution, l'art. 1^{er} du contrat de 1890 porte :

Le Gouvernement concède au Liquidateur de la Compagnie universelle du canal interocéanique de Panama une prorogation de dix années pendant lesquelles le canal devra être terminé et mis en service public.

Et l'art. 4^{er} du contrat de 1893 confirme cette disposition et ajoute :

Le terme de dix ans commencera à partir du jour de la constitution définitive de la nouvelle Société.

La Compagnie nouvelle ayant été régulièrement et définitivement constituée le 20 octobre 1894, sa constitution a été notifiée le 22 octobre au Gouvernement Colombien qui en a donné acte et c'est ainsi, de cette date, que part le délai accordé pour l'achèvement du canal : il en résulte qu'actuellement ce délai expire fin octobre 1904.

Les lois et contrats que nous venons de rappeler établissent les bases des rapports qui existent entre la Compagnie nouvelle et le Gouvernement de la

République Colombienne. La Commission a constaté, pendant le voyage qu'elle a fait dans l'Isthme, que ces rapports étaient empreints d'une grande bienveillance et d'une parfaite courtoisie.

Quelle que soit la solution qui sera adoptée pour l'achèvement du canal, il n'est pas possible d'espérer que la nouvelle voie sera ouverte à la navigation au mois d'octobre 1904. Des négociations ont donc dû être engagées en vue d'une prorogation du délai d'exécution. Nous avons la confiance que le Gouvernement Colombien maintiendra sa bienveillance à une Compagnie qui a assumé la tâche de mener à bonne fin une entreprise pour laquelle de si grands sacrifices ont été accomplis, et dont l'achèvement serait, pour la Colombie, une source de prospérité, et le point de départ d'un développement dont on ne peut prévoir toute l'étendue.

Nous terminerons ce chapitre en rappelant que le port de Colon est actuellement relié à Panama par une voie ferrée que suit, d'une manière générale, le tracé du futur canal interocéanique. Ce chemin de fer qui a fait l'objet d'une concession spéciale de la part du Gouvernement Colombien (alors République de la Nouvelle-Grenade) et a été ouvert à l'exploitation en 1855, appartient à une Société américaine régie par les lois de l'État de New-York et qui porte le nom de « Panama Rail Road Company » dont la Compagnie nouvelle est actionnaire, comme il est dit plus haut.

L'existence d'une voie ferrée traversant l'Isthme et suivant le tracé du canal à ouvrir entre les deux mers est indispensable au point de vue de l'exécution des travaux ; elle permet de transporter pour ainsi dire au lieu d'emploi, le matériel de chantier, les machines, les voies et tous les engins nécessaires, enfin les approvisionnements de toute sorte indispensables à une population ouvrière nombreuse ; si cette voie n'avait existé, il eût fallu la créer.

Avant que cette concession ait été donnée par la Colombie à la Panama Rail Road C^o, le Gouvernement Américain avait conclu avec la République de la Nouvelle-Grenade à la date de 1846-1848 un traité par lequel il lui garantissait sa souveraineté dans l'Isthme de Panama et s'obligeait à assurer le libre transit sur les voies de communication qui pourraient y être construites.

CHAPITRE III

Situation actuelle.

Sans avoir à rappeler ici les ressources réalisées par l'ancienne Compagnie, nous nous bornerons à indiquer sommairement les dépenses effectuées dans l'Isthme comprenant près de 83 millions pour les traitements du personnel, 119 millions pour l'achat et le transport de gros matériel, 77 millions pour la construction d'ateliers et de bâtiments, près de 5 millions pour les acquisitions de terrain, plus de 9 millions pour le service sanitaire, 443 millions pour les travaux exécutés, c'est-à-dire les cubes de terrassements effectués par l'ensemble des différentes entreprises qui ont travaillé au canal et qui s'élèvent d'après les décomptes à 50.641.080 mètres cubes, à quoi il y a lieu d'ajouter les terrassements exécutés en régie, soit 5.000.000 de mètres cubes, ce qui donnerait un total de 55.641.080 mètres cubes.

Le matériel approvisionné est considérable. Nous donnerons seulement quelques chiffres. Existente encore dans les magasins ou sur les chantiers, 150 locomobiles, 256 locomotives, 3.372 wagons de 6 mètres cubes, 1.360 wagons de 4 mc., 4.243 wagonnets, 150 kilomètres de voie large, non compris environ 40.000 rails, 4 kilomètres de voie étroite et 20.000 rails pour voie de 0^m,50, 23 chaloupes, 23 canots, 13 cayouques, 63 chalands, 36 clapets à main ou à vapeur, 9 remorqueurs, 89 excavateurs, 253 grues, 10 câble-ways, 28 dragues, et en plus, des approvisionnements importants de tuyaux de fonte pour les écluses, tôles, fers, etc.

Le contrat de prorogation stipulant que les travaux d'excavation seront repris d'une manière sérieuse et permanente, la Compagnie s'est immédiatement mise en mesure de satisfaire à cette condition.

Les travaux exécutés ont consisté dans l'ouverture d'une cunette d'approfondissement d'au moins 10 mètres de largeur au plafond montrant à nu les terrains qui devront être enlevés pour le passage du canal dans la tranchée de faite, Emperor et Culebra ; cette cunette, qui sur la partie la plus élevée du

massif atteint 50 mètres environ de profondeur, dont 25 mètres exécutés en toute largeur par l'ancienne Compagnie et 25 mètres par la Compagnie nouvelle, est complétée par de nombreux sondages descendus jusqu'à la cote 10 m.; en dragages et dérochements dans le bassin d'évolution de la Boca et le chenal maritime qui le relie à l'île de Naos.

Les études sur le terrain ont été poursuivies bien au delà des limites dans lesquelles s'était renfermée l'ancienne Compagnie : elles ont embrassé des surfaces considérables et ont permis d'acquérir une connaissance complète du pays, de dresser une carte détaillée de toute cette région et de trouver la solution de difficultés secondaires auxquelles donnait lieu l'établissement du projet.

Ces indications suffisent à montrer que, depuis sa formation, la Compagnie nouvelle a poursuivi, sans interruption, les travaux d'excavation en même temps qu'elle procédait aux études qui permettent d'établir le projet définitif d'exécution du canal.

CHAPITRE IV

Visite des travaux par la Commission.

Une délégation de la Commission s'est rendue dans l'Isthme pour visiter les chantiers, le matériel approvisionné et les installations qui constituent les moyens d'exécution dont dispose la Compagnie nouvelle.

Cette délégation, qui était composée de MM. Paul Etienne, général Abbot et Zürcher, a pris passage à Pauillac le 26 février 1898 sur le transatlantique le *Labrador* et a débarqué à Colon le 20 mars.

A ces membres de la Commission s'étaient joints MM. Koch, ancien membre technique de la Commission Impériale du canal de Kiel ; Hutin, Directeur général de la Compagnie ; Choron, Directeur des Etudes et Travaux, et Drosso, attaché à la Compagnie.

La mission a visité en premier lieu les installations existantes à Colon, où un important matériel flottant, composé de dragues, de remorqueurs, et de chalands à clapets, est entretenu en bon état et prêt à être mis en service. Un petit bassin de radoub, des ateliers convenablement outillés, permettent d'assurer la conservation des coques métalliques de ces flottants, ainsi que de leur machinerie.

C'est à Colon que se trouvent aussi les magasins les plus importants d'outils et accessoires, de matières consommables, de wagons, machines, etc. Ils sont tenus en bon ordre et le matériel y est abrité dans des conditions suffisantes, aussi bien aux abords immédiats de Colon que dans le centre voisin de Monkey-Hill où se trouvent en particulier de nombreux wagons, des éléments de voie système Decauville et plusieurs locomotives à voie normale en très bon état.

La mission, pendant son séjour à Colon, a parcouru entièrement le bief maritime du canal ; sur la section voisine de l'aboutissement en mer, la profondeur créée par les dragues de l'ancienne Compagnie s'est à peu près conservée ; à la rencontre du Chagres, les apports du fleuve ont formé des seuils dont l'enlèvement exigera des dragages importants ; mais de ce point jusqu'aux

abords de Bohio au kilomètre 21, les profondeurs obtenues primitivement se sont maintenues, ce qui permet de se faire une idée de l'aspect de la voie navigable projetée. Le long du canal, on voit en dépôt les tuyaux destinés à l'alimentation des écluses qui se trouvent dans de bonnes conditions de conservation ; on compte les utiliser dans les écluses que comporte l'exécution du nouveau projet.

A Bohio, la mission a visité dans le plus grand détail l'emplacement où doit être établi le barrage en terre qui, en retenant les eaux du fleuve, constituera à l'amont un lac artificiel. De nombreux sondages ont permis de reconnaître la nature des terrains sur lesquels doit reposer la digue projetée, et qui sont constitués par une importante couche de sable argileux rougeâtre. En franchissant la butte, dite « butte du Cimetière », on atteint le col où doit être construit un des déversoirs du lac de Bohio.

Sur la rive gauche du Chagres se trouve la tranchée creusée par l'ancienne Compagnie dans un poudingue solide en puissantes assises, qui constituera une excellente fondation pour les écluses placées entre le lac et le bief atlantique. C'est sur une formation analogue que sera établi le déversoir de la rive opposée.

Une visite détaillée a été faite ensuite de la carrière de Bohio déjà largement exploitée depuis la construction du P. R. R., et qui peut être considérée comme une mine inépuisable de matériaux de construction, blocs d'enrochements, moellons, et même pierres de taille, admirablement placée, tant par ses relations faciles avec le P. R. R. que par son voisinage immédiat de l'immense chantier qui devra être installé à Bohio.

La mission a également visité l'affleurement calcaire de Peña Blanca, point kilométrique 22.300, où l'une des écluses de l'ancienne Compagnie devait être construite et où les fouilles ont été assez profondément poussées ; puis, après avoir jeté un coup d'œil sur l'élargissement de la vallée, à Tavernilla, sur l'emplacement des tranchées de San Pablo, elle s'est arrêtée plus longuement à Matachin et à Obispo où se trouvent d'importants magasins contenant surtout du matériel roulant, des ateliers comportant un outillage des plus complets et, en particulier, une fonderie. Là, comme à Colon, elle a pu constater le bon état d'entretien de cet outillage considérable, dont la valeur est encore augmentée par sa position à proximité des chantiers à ouvrir.

C'est ensuite sur les chantiers d'Emperador et de Culebra que la mission a procédé à une visite de détail des plus intéressantes.

Ce qui frappe tout d'abord dans cette visite des travaux, et nous pouvons

ajouter, ce qui nous a surpris, c'est l'ordre qui règne sur les immenses chantiers en activité dans l'Isthme, où 3.000 noirs environ sont employés à des travaux de terrassement dans des roches plus ou moins dures, et pour lesquelles l'emploi de la mine est souvent nécessaire. Les équipes de fouille, d'extraction, de chargement en wagon et de transport des terres à la décharge sont méthodiquement organisées, aussi bien qu'elles pourraient l'être sur des chantiers européens ; les noirs qui composent ces équipes sont disciplinés et attachés à leur travail.

La question de l'enlèvement des déblais est une des plus importantes qui puissent se poser dans l'exécution d'une tranchée aussi considérable que celle de la Culebra, où il est nécessaire d'établir, sur un espace restreint, le plus grand nombre possible de voies d'évacuation. A ce point de vue, on est en droit d'attendre les meilleurs services des câbleways, qui fonctionnent déjà actuellement et sont d'un usage courant en Amérique ; les bennes sont remplies par l'ouvrier au fond de la fouille, puis enlevées au moyen du câble et transportées au-dessus des wagons où elles sont déversées ; on peut ainsi élargir l'emplacement à attribuer aux voies de décharge.

La mission a suivi avec intérêt le travail de division du terrain par la mine, le fonctionnement des excavateurs, le chargement des trains et leurs mouvements sur les décharges du Lirio et du Rio Grande.

Certains noirs ont pu se mettre au courant des manœuvres de croisement des trains et les diriger ; ce sont des opérations de plein soleil assez fatigantes pour qu'il soit difficile de les confier à des Européens.

Nous donnons, dans le présent rapport, une étude géologique de l'Isthme, qui a été grandement facilitée par les profondes excavations des cunettes provisoires, dont les talus, fraîchement ouverts, peuvent être étudiés avec précision, par les explorations de la galerie à la cote 41, ainsi que par l'examen des puits descendus au moins tous les 500 mètres jusqu'à un niveau inférieur à celui qu'atteindront les tranchées. La vue des tranchées ne peut laisser aucune crainte sur leur conservation dans l'avenir.

Sans doute l'ancienne Compagnie, qui a attaqué la couche d'argile qui recouvre la roche, a éprouvé des mécomptes ; des éboulements se sont produits sous l'influence des pluies diluviennes du pays ; mais cette couche ébouleuse est aujourd'hui traversée : les déblais ont été à l'origine attaqués sur une très grande largeur, calculée en vue de l'exécution d'un canal à niveau ; leur surface est recouverte d'une puissante végétation et aucun accident de cette

nature n'est plus à redouter sur tout le parcours de la tranchée centrale, sauf peut-être à Cucaracha, où la couche d'argile descend sur le versant pacifique et est rencontrée par le tracé du canal. Mais un travail provisoire exécuté par la Compagnie nouvelle a déjà arrêté les mouvements de terrain, et il sera facile de consolider, d'une manière définitive, cette partie peu étendue des terrassements.

La mission a visité le tracé du canal sur le versant pacifique ; là, les difficultés sont d'ordre moindre que sur le reste du tracé. Les emplacements des écluses, Paraiso, P^t K° 56.700, Pedro-Miguel, 59.400, Miraflores 61.900, sont reconnus comme offrant un excellent sol de fondation. Les travaux dans cette section peuvent être rapidement et facilement exécutés. Il y a intérêt à signaler à ce sujet le parfait état de conservation d'un barrage de retenue exécuté par l'ancienne Compagnie sur le Rio Grande, à travers une vallée creusée dans les roches volcaniques (andésites), dans des conditions comparables à celles que rencontre la partie de la rigole alimentaire la plus voisine du canal.

La visite du Haut-Chagres, remonté en cayouque depuis Matachin jusqu'aux gorges situées en amont d'Alhajuela, et le parcours de la rigole qui conduirait les eaux du réservoir d'Alhajuela au bief de partage, constituent une des parties les plus importantes du voyage. La mission en remontant le fleuve, a pu examiner successivement l'emplacement du barrage projeté par l'ancienne Compagnie à Gamboa, et qui semble peu favorable à une construction de cette importance, tant par la largeur de la vallée que par la nature du sol, le passage de la Contadora où la Compagnie nouvelle avait également songé à barrer la vallée, et enfin la partie du fleuve où l'on se propose de construire une digue. Situé au-dessus d'Alhajuela, l'emplacement prévu pour le barrage offre les conditions les plus favorables, tant pour asseoir les fondations que pour appuyer la digue elle-même sur des contreforts rocheux qui ne laissent entre eux qu'une étroite vallée ; de plus, il sera possible de donner, pendant la période d'exécution des travaux, passage aux eaux du Chagres en perçant un éperon de peu de largeur, placé sur la rive gauche.

Le tracé de la conduite alimentaire se développe tout d'abord sur un terrain assez tourmenté où le sol est formé de la même roche solide que celle dans laquelle le Chagres a creusé son lit, en amont d'Alhajuela. Aucune difficulté n'est à prévoir, du fait de la nature du terrain, jusqu'à la traversée du Chilibre, et même jusqu'à 2 kilomètres au delà où l'on voit encore la mollasse d'Alhajuela affleurer au-dessous des terrains volcaniques.

On se trouve ensuite dans les andésites, qui se présentent en couches puissantes, et que l'on aperçoit sur les points où la végétation ne recouvre pas entièrement le sol, notamment à la traversée des affluents secondaires du Chagres, Falupa, Falupita, et autres encore moins importants.

Cette partie du voyage, par la splendeur et la magnificence de la forêt vierge, laisse des souvenirs inoubliables. Les lianes et les orchidées en fleur jettent une note éclatante sur les arbres gigantesques du massif.

C'est peut-être dans cette région qu'on éprouve l'impression la plus forte que puisse donner la puissante végétation des pays équatoriaux. Cette végétation est encore plus active sur le versant atlantique, où les pluies sont plus abondantes que sur le versant pacifique.

La mise en valeur de la terre donnera certainement des produits considérables. La mission a pu constater qu'à l'hôpital de Panama des marécages malsains avaient été transformés en excellents pâturages. Le magnifique jardin de cet établissement donne un exemple de ce que le pays peut produire en fleurs, en fruits et même en cultures industrielles. Les caoutchoucs y ont parfaitement réussi. Nous joignons au rapport une notice sur les produits agricoles de la Colombie.

A la Boca, on terminait les travaux d'installation du wharf et les dérochages du bassin d'évolution pour les navires.

Ces travaux présentent un grand intérêt non seulement parce qu'ils permettront d'éviter un transport par chalands des marchandises échangées entre les navires du Pacifique et le Chemin de fer de Colon, mais encore parce que leur exécution a prouvé qu'il était possible, avec les éléments ouvriers dont on dispose dans l'Isthme, d'établir des fondations en mer à l'air comprimé et de terminer des ouvrages d'une certaine difficulté.

Des habitations sont aujourd'hui édifiées sur tout le parcours du canal : les eaux des rivières sont généralement saines, et les sources qui se découvrent aux pieds des cerros offrent une précieuse ressource aux habitants : nous citerons la source du cerro Ancon, qui dessert l'hôpital et une partie de la ville de Panama, et celles qui émergent près de la Culebra.

Les hôpitaux de Colon et de Panama ne renfermaient, au moment de notre visite, qu'un nombre restreint de malades ; mais ces établissements sont largement organisés, surtout celui de Panama, et l'on n'a pas à craindre leur insuffisance. Les sœurs de Saint-Vincent-de-Paul, qui les dirigent, tout éprouvées qu'elles soient quelquefois par le climat, n'en ont pas moins au service des

malades un admirable dévouement. Le service sanitaire est fait par des médecins qui joignent à une science étendue une connaissance complète des maladies paludéennes et une expérience prolongée du climat. Les résultats obtenus, que nous faisons connaître dans le chapitre de la climatologie, sont le plus bel éloge que l'on puisse faire de la direction qui est donnée à ce service.

A Panama, on se trouve dans une atmosphère de foi à l'œuvre du percement du canal. Le personnel aussi bien que la population, témoins de l'habileté déployée dans la direction des travaux, et qui ont assisté au relèvement d'une entreprise qu'on avait pu croire abandonnée, en présence du progrès accompli pendant les dernières années ont, dans le résultat final, la plus grande confiance.

Le 8 avril, la Commission ayant complètement atteint le but de son voyage, est repartie de Colon par l'*Alliança*, bateau de la Compagnie P. R. R. et revenue en France par New-York, où elle a pu visiter les travaux considérables de retenue d'eau exécutés pour l'alimentation de la Ville de New-York, sous la direction de M. l'Ingénieur en chef Fteley, qui fait partie du Comité technique de la Compagnie nouvelle.

Nous ne voulons pas terminer ce rapide résumé du voyage de la Commission dans l'Isthme sans donner un souvenir à un homme qui, avec une parfaite courtoisie, a bien voulu nous accompagner dans nos tournées et nous fournir sur tout ce qui a trait à la question, des renseignements intéressants. Nous voulons parler de M. Pedro Sosa, Ingénieur en chef de l'Etat Colombien qui avait une connaissance approfondie de l'Isthme ainsi que des conditions dans lesquelles les travaux devaient y être exécutés et croyait fermement à l'œuvre poursuivie par la Compagnie nouvelle. Il avait fait partie du Congrès international d'Etudes en 1873 et venait d'être nommé membre du Comité technique, lorsque se rendant à Paris pour prendre part à ses travaux, il fut, ainsi que son plus jeune fils qui l'accompagnait, victime du naufrage du transatlantique « La Bourgogne » sur lequel il avait pris passage.

CHAPITRE V

Description topographique.

Le trait caractéristique de la topographie de l'Isthme, c'est l'absence de chaîne au sens propre du mot, c'est le morcellement des crêtes en une série de pitons isolés, arrondis ou coniques, appelés « cerros » dans le pays, et formant dans leur ensemble un véritable chaos, sans loi ni sans orientation apparente. Si l'on gravit un des pics les plus élevés, on constate seulement, le long de la mer, une tendance à un groupement parallèle aux côtes, et, dans la région montagneuse du centre, l'indication plus ou moins fréquente de larges cirques, entourés d'une ceinture de « cerros » et correspondant à l'origine ou à l'élargissement des vallées.

La plupart des pitons sont composés de roches éruptives, et ce fait contribue à l'impression première, qui est celle d'une région de pics volcaniques et de cratères juxtaposés. Mais la même disposition persiste dans les terrains sédimentaires, et il faut en conclure qu'elle est seulement due aux phénomènes d'érosion. Chaque piton isolé n'est pas un volcan, chaque cirque n'est pas un cratère; ce sont les actions atmosphériques qui ont découpé ces formes dans de vastes coulées superficielles, et qui n'ont eu le temps de le faire que parce que ces coulées sont relativement très anciennes.

Le point capital est l'absence d'orientation générale; à l'Est comme à l'Ouest, la Cordillère centrale, quoique également déchiquetée, laisse reconnaître une crête ou une série de crêtes à peu près continues, avec des directions bien accusées. Près de Panama, sur une longueur de 80 kilomètres, il n'y a plus rien de pareil : la chaîne en s'abaissant perd ses caractères. Le soulèvement, à l'Est et à l'Ouest, a été assez énergique pour laisser son empreinte dans la topographie; près de Panama, il a été si faible qu'il est masqué par les détails accessoires du relief. Ce n'est donc pas le hasard, c'est une cause profonde qui fait de Panama la région des seuils les plus bas; c'est, géologiquement, *la partie la moins soulevée* de l'Amérique centrale.

On ne voit pas non plus dans l'Isthme ces hautes cimes volcaniques, qui,

du Mexique à Costa-Rica, ont couvert le sol voisin des débris de leurs projections. Quelques sommets plus élevés, comme le Cerro Ancon et le Cerro Comboy, tranchent bien par leur pointe plus saillante et plus aiguë au milieu des sommets voisins, comme le Puy-de-Dôme au milieu de la chaîne des Puys ; mais ce sont des montagnes trachytiques très anciennes. Partout, le caractère volcanique n'est que superficiel : l'activité éruptive est depuis longtemps éteinte à Panama, et de même que c'est la région la moins soulevée de l'Amérique centrale, *c'en est aussi la région la plus stable.*

Bords du canal. — En suivant le canal, malgré l'épaisse végétation qui dissimule souvent les formes du terrain, on peut reconnaître tous les détails indiqués dans ce premier aperçu. De Colon à Gatun, la plaine alluviale du Chagres longe une rangée de collines côtières (Mindi hills, Sierra Quebrancha, 63^m) assez bien orientées dans l'ensemble, quoique déjà morcelées dans le détail ; à leurs pieds, des mamelons moins élevés (Monkey hills, 20^m) semblent, d'après M. Hill, montrer encore la trace d'une ancienne abrasion marine. Les mêmes caractères se retrouvent, après Gatun, dans les mamelons du Tigre et du Lion, derniers contreforts des collines d'Ahorca Lagarto (60^m). Puis brusquement à Bohio la vallée se resserre, et on voit une première indication des formes plus abruptes des cerros du centre. Mais le resserrement n'est que momentané ; le Chagres s'épanouit de nouveau dans la plaine de Tavernilla, dont les pentes adoucies se raccordent au Nord-Est avec les grands plateaux d'Alhajuela, découpés par les profonds canons du Haut Chagres et de ses affluents. A San Pablo seulement commence définitivement la région montagneuse, où il n'y a plus place pour de larges plaines d'alluvions. On entre dans la vraie région des cerros ; on s'élève en traversant les cirques de Mameï, de Juan Grande, et le mieux accusé de tous, celui de Matachin. Là, on quitte le Chagres, qui remonte au Nord, pour suivre le cours, accidenté et parsemé de chutes, de son affluent l'Obispo ; enfin, au pied du col (50^m), on arrive au vaste amphithéâtre de la Culebra, large de plus de 5 kilomètres, et entouré de collines de 200 mètres d'altitude.

Sur le versant pacifique, la pente moyenne est trois fois plus forte environ que sur le versant atlantique. La région des cirques y a aussi moins d'extension ; elle cesse à Pedro-Miguel. Les cerros se montrent de plus en plus isolés et clairsemés ; la vallée du Rio Grande s'élargit, et les derniers pitons s'alignent le long de la côte, dominés par le cerro trachytique d'Ancon (190^m), au pied duquel est construit Panama.

CHAPITRE VI

Géologie.

L'Isthme est formé par une voûte anticlinale très surbaissée, dont le sommet constitue, sur 28 kilomètres, un large plateau légèrement incliné vers le versant atlantique; sur les flancs de la voûte, des terrains de plus en plus récents s'abaissent de chaque côté vers les deux Océans.

Le centre de la voûte est constitué par des roches volcaniques (roche de Gamboa), alternances de coulées et de brèches en partie éruptives, en partie remaniées par les eaux. La présence à Bohio de petites Nummulites et d'Orbitoïdes dans ces brèches, permet d'assigner à ce premier système, le plus ancien de l'Isthme, un âge oligocène, et peut-être tongrien.

L'Aquitaniens, en partie formé des débris des mêmes roches, est franchement marin sur le versant atlantique (couches de Vamos-Vamos), où un calcaire à Orbitoïdes (Peña blanca) forme un niveau bien reconnaissable. Sur le versant pacifique, le même étage est schisteux et lignitifère; il contient des bancs saumâtres et des intercalations de tufs et de coulées andésitiques (grès et brèches de la Culebra). Puis vient le Miocène, comprenant à la base des calcaires et grès calcarifères (mollasses d'Alhajuella), avec Clypéastres et *Pecten subpleuronectes*, et à la partie supérieure des argiles tufacées à *Turritella tornata* (couches de Mindi). Sur le plateau central et sur le versant pacifique, le Miocène est en partie ou presque entièrement représenté par des tufs trachytiques sous-marins (Foraminifères), au milieu desquels se dressent des pitons trachytiques (Cerro Ancon).

Tout cet ensemble, au moins sur le versant pacifique, a été traversé par des dykes de roches andésitiques foncées qui se sont épanouies à la surface en vastes coulées. Ces coulées, morcelées et en partie enlevées par l'érosion, forment aujourd'hui la crête de partage, entièrement située sur le versant pacifique de l'anticlinal central. Le seul fait de la conservation privilégiée de ces roches sur le flanc de la voûte centrale, auprès du point de plongée plus rapide des

terrains qui la composent, montre que les coulées sont antérieures au moins aux derniers mouvements qui ont façonné l'anticlinal. Elles sont donc antérieures au Pliocène, et cette constatation importante prouve que l'activité éruptive est depuis très longtemps éteinte dans la région de Panama.

Les différents types indiqués dans la topographie dépendent nettement de la nature des terrains : la basse plaine du Chagres avec les collines peu élevées qui la bordent (Mindi hills et Ahorca Lagarto), correspond à la zone des argiles miocènes et oligocènes ; la plaine de Tavernilla et les plateaux d'Alhajuela qui lui font face sur la rive droite du Chagres, correspondent à la partie la plus basse de la voûte centrale, recouverte par les tufs trachytiques et par les mollasses miocènes ; les resserrements de Bohio et de Baila-Monos, la région montagneuse de l'Obispo et de la Culebra, avec ses cerros et ses cirques, correspondent aux affleurements de la roche de Gamboa et au système des grès de la Culebra ; enfin l'élargissement de la vallée du Rio Grande et la plaine pacifique, jusqu'à Panama, reproduisent les conditions de la plaine de Tavernilla, et sont dus à un nouvel affleurement des tufs trachytiques.

Il reste à mentionner une formation qui n'a pas d'âge spécial, qui est pourtant la plus connue et la plus apparente de tout l'Isthme ; ce sont les *argiles rouges* de la surface. Ces argiles, propres aux climats tropicaux, sont le résultat de la désagrégation sur place des terrains par les actions atmosphériques ; tantôt il ne reste plus qu'une boue rouge et ferrugineuse, sans stratification ; tantôt l'altération est incomplète et laisse subsister une division en bancs bien accusée, ou même des lits de poudingues intercalés. En tout cas, l'altération s'arrête généralement à un banc argileux imperméable, qui peut fournir une surface de glissement facile.

Ces argiles rouges atteignent localement jusqu'à 20 mètres d'épaisseur, et même davantage ; l'épaisseur apparente peut être plus grande encore, parce que le manteau argileux suit les ondulations du sol ; on pourrait croire, par exemple, en voyant les argiles au pied du Cerro Culebra, qu'elles pénètrent sous le pic et forment le soubassement des roches éruptives. Il n'en est rien : elles ne forment jamais qu'un manteau superficiel ; partout où elles n'existent pas à la surface, elles n'existent pas en profondeur.

Sur le parcours des tranchées du canal, elles ont leur plus grande épaisseur vers le faite et sur le versant pacifique de la grande tranchée ; c'est là qu'elles ont donné lieu à l'éboulement de Cucaracha (kil. 54,50 à 55,5). La tranchée a depuis longtemps dépassé leur niveau, et l'approfon-

dissement progressif des travaux n'amènera plus à les rencontrer ; mais il reste toujours à prendre les précautions indiquées en pareil cas et il conviendra de les exagérer dans les parties où, comme à Cucaracha, la pente des argiles a lieu vers la tranchée.

Avec ces données, et avec l'expérience des études préparatoires poursuivies par la Compagnie nouvelle, on peut se prononcer avec certitude sur les conditions d'achèvement des grands travaux projetés. Le plus important, la tranchée centrale, se divise en deux sections, celle d'Emperador et celle de la Culebra. La première est, pour la plus grande partie, et entièrement pour les parties profondes, dans la roche de Gamboa et dans les brèches subordonnées ; ce sont des roches très dures, qui heureusement ne comprendront guère qu'un dixième du cube total des déblais, mais qui, par contre, offriront des parois très solides, sans exiger nulle part de revêtements. La seconde partie, ou la grande tranchée proprement dite, sera presque entièrement dans le système sédimentaire des grès et brèches de la Culebra. Là, la dureté est en moyenne beaucoup moindre, mais la tenue des terrains est excellente, permettant même des talus très raides. Le système descend là au-dessous du niveau de la mer, et permettra dans les mêmes conditions un approfondissement de la tranchée aussi grand qu'il sera nécessaire.

Une circonstance pourtant aurait pu motiver quelques craintes : la circulation lente des eaux météoriques n'est pas arrêtée complètement par le manteau des argiles rouges, et il en résulte un mode spécial d'altération ; les roches, en apparence compactes et solides, s'effritent sous une légère pression après qu'elles ont été immergées dans l'eau. Elles n'ont plus en quelque sorte qu'une cohésion instable. Le fait semble dû à l'existence de traînées argileuses, que révèle l'étude microscopique, et qui décèlent un commencement de décomposition. Mais il semble bien établi que cet effritement ne se produit que pour les petits fragments isolés, et que la cohésion subsiste pour les roches en masse. L'expérience a été faite en grand et sur place : des tranchées importantes ont été laissées exposées à l'air pendant plus de deux ans, sans travaux de soutènement, et rien n'a bougé. La seule conséquence à prévoir semble donc qu'il faudra protéger par un revêtement maçonné, au moins la partie de la section mouillée exposée à l'action des vagues et des remous produits par la navigation, ou, ce qui serait préférable, la section mouillée tout entière.

Pour les travaux d'art, l'établissement des écluses, toutes fondées sur le rocher solide, ne prête lieu à aucune difficulté d'ordre géologique. Le barrage d'Alhajuela sera fondé sur la mollasse miocène, grès calcarifère très massif, en gros bancs horizontaux, susceptibles même de donner de bons matériaux de construction; la rigole d'alimentation se tiendra dans les mêmes bancs jusqu'à deux kilomètres après la traversée du Chilibre; elle entrera alors dans des roches volcaniques solides (andésites des cerros), analogues à celles qui ont servi de fondation au barrage du Rio Grande. La seule question qui mérite un examen détaillé, après celle de la grande tranchée, est celle du barrage de Bohio.

Il n'a pas été fait mention jusqu'ici des formations quaternaires de la vallée du Chagres, parce qu'on sait peu de chose à leur sujet : les sondages ont constaté, à Gamboa par exemple, une épaisseur de 20 mètres de graviers et de galets; la plaine de Tavernilla est remplie, au moins sur la même épaisseur (limite des sondages), par des argiles plus ou moins sableuses, avec quelques lentilles de galets en amont. Près de Bohio, ces argiles, puissantes de 30 mètres, surmontent des sables argileux mêlés de graviers. On a renoncé, sur l'emplacement du barrage, à atteindre le substratum rocheux et le projet comporte un barrage en terre, de 20 mètres de haut, fondé sur l'argile. (Voir à ce sujet la coupe insérée dans l'annexe n° 1, page 94.)

Il est certain que le dépôt de ces argiles correspond à une phase ancienne de l'histoire de la vallée; elles forment une terrasse bien marquée, et le Chagres y a creusé son lit actuel, qu'il a rempli sur 5 mètres de vase sableuse et de graviers. Ce fait, joint à l'analogie avec le remplissage de la plaine de Tavernilla, montre qu'on a affaire à une couche continue et homogène; l'argile est compacte et imperméable; la terrasse voisine fournira pour le barrage des matériaux de même nature que la base. Toutes ces conditions sont très rassurantes; le seul danger serait l'abondance des infiltrations et la création d'un courant souterrain dans les graviers inférieurs. Or la continuité de la couverture argileuse sur toute la plaine de Tavernilla rend ce danger invraisemblable; elle permet d'affirmer en tout cas que la pression exercée par les eaux du lac artificiel, après l'établissement du barrage, changera peu à ce point de vue les conditions actuelles, dont la stabilité ne fait de doute pour personne.

Question des tremblements de terre.

Les secousses de tremblement de terre sont relativement assez fréquentes dans l'Isthme ; l'ancienne Compagnie en a noté jusqu'à treize en trois ans (1882, 1883 et 1884). D'un autre côté la région de l'Amérique centrale, dans son ensemble, est une de celles qui sont le plus exposées aux séismes désastreux. Il importe donc d'examiner jusqu'à quel point ces phénomènes peuvent menacer la conservation du futur canal.

Un premier point domine la question : la mobilité du sol, dans l'Amérique centrale, est partout étroitement liée à l'action volcanique. Or cette action a cessé à Panama depuis la fin du Miocène, sans aucune trace de retour ; on n'a nulle part signalé dans l'Isthme ni dégagement de vapeurs ni sources thermales. C'est un foyer depuis longtemps éteint, où rien ne couve. Il n'y a rien à craindre de ce côté.

On a souvent remarqué que la mobilité du sol semblait se manifester de préférence le long des fractures transversales aux lignes de plissement ; l'Amérique centrale, comme on le verra, en fournit de nombreux exemples. Il est donc important de répéter que l'abaissement des seuils, à Panama, ne correspond pas à une fente transversale, mais seulement à une moindre action des forces de soulèvement.

Un examen géologique d'ensemble montre même que Panama occupe une place privilégiée, au point de vue de la stabilité du sol. Si, en s'aidant des courbes de niveau sous-marines, on trace sur une carte les axes de dépression et de soulèvement (axes synclinaux et anticlinaux), on les voit successivement, après avoir suivi la côte pacifique, s'infléchir vers l'Est, et aller se perdre près de la côte de l'Amérique du Sud. Les lignes de plissement de la chaîne des Andes s'infléchissent symétriquement vers l'Est et vont s'accoler également contre une ligne voisine de la côte, ligne qui représente ainsi une sorte d'arête de rebroussement entre les deux systèmes (voir le croquis de l'annexe, page 117 et la planche n° 5). Les zones de volcanisme et de tremblements de terre s'ordonnent très méthodiquement suivant ces différentes lignes : les axes de dépression sont des lignes volcaniques et séismiques, le long de l'Océan Pacifique ; ce ne sont plus que des lignes séismiques, d'intensité affaiblie, le long des Grandes Antilles, et l'une d'elles, seulement redevient volcanique dans les Petites Antilles. Une loi semblable se vérifie pour l'arête de rebroussement ; c'est une ligne séismique de

premier ordre, le long de la côte de Caracas et de Cumana ; plus loin le long de l'Atrato, à 70 kilomètres de l'Atlantique, elle a donné lieu en 1882 à de longues et violentes secousses, accompagnées de manifestations volcaniques (cratère formé près de Sucio, avec éruption de sables et de cendres); enfin elle se dirige vers les Galapagos, qui sont un centre volcanique important.

Chacune des lignes volcaniques ainsi définie a une position bien déterminée, qui ne semble pas avoir changé depuis le début de l'époque quaternaire. Le long de chacune des lignes, l'activité volcanique se déplace, mais la ligne même ne s'est pas déplacée d'une manière sensible. Pour chaque point de la région, la stabilité du sol est donc comme définie par la place qu'il occupe dans ce réseau. Or, la dernière zone d'ébranlement au Nord est celle des volcans de Costa-Rica ; entre elle et l'arête de rebroussement, on voit qu'il existe une sorte d'angle mort, une aire tranquille au milieu des régions instables ; c'est là qu'est situé Panama, à égale distance des lignes dangereuses les plus voisines.

La statistique des secousses confirme ces conclusions. On ne cite à Panama, qu'un séisme destructeur, celui de 1621, et encore M. de Montessus de Ballore, d'après la discussion des textes, est-il porté à attribuer plutôt le désastre à un incendie. Dans ce siècle, les deux plus fortes secousses (7 septembre 1882 et 8 mars 1883) ont coïncidé avec les tremblements de terre de l'Atrato, trois autres ont coïncidé avec des tremblements de terre de Costa-Rica. Les autres petites secousses, pour lesquelles il n'y a pas eu de coïncidence constatée, pourraient être attribuées, comme le fait M. Sapper pour quelques séismes très localisés du Guatemala, à des glissements de terrains ou à des écroulements de cavités souterraines, non loin de la surface du sol.

On voit donc combien est justifiée l'assertion que l'Isthme de Panama est la région la plus stable de l'Amérique centrale : contre les ébranlements propagés à distance, la distance même (2 à 300 kil.) est une protection suffisante, et toutes les probabilités géologiques sont opposées à l'existence ou à la création d'un centre d'ébranlement plus rapproché.

Il n'en est pas moins vrai qu'il vaudrait mieux une aire de calmes au milieu d'une région tranquille qu'au milieu d'une région agitée. Si rassurante que paraisse donc la situation, il convient de prendre toutes les mesures de précaution possibles ; elles se réduisent d'ailleurs à une étroite surveillance à apporter dans la construction des ouvrages d'art, de manière à éviter les malfaçons. Pour le barrage de Bohio seulement, il conviendrait peut-être, comme nous

le dirons plus loin, d'augmenter l'importance des enrochements prévus à l'aval de la digue en terre, de manière qu'en cas de fissures produites, le massif de roches fût par lui-même en état de résister à la poussée des eaux.

Comparaison avec le Nicaragua

Les conditions favorables qu'offre, à ce point de vue, le tracé de Panama ressortiront mieux d'une comparaison avec le Nicaragua.

Le canal de Nicaragua passerait en pleine région volcanique, entre les deux rangées actives du Nicaragua et de Costa Rica; le lac même, d'après Fuchs, est le foyer principal de l'activité volcanique dans la région. Les tremblements de terre sont fréquents dans le voisinage et ont détruit plusieurs fois les villes de Léon et de Grenade.

Mais il y a quelque chose de plus : le tracé projeté coïncide avec une ligne de fracture transversale, particulièrement menacée. Si l'on examine en effet la rangée de volcans qui, sur 1200 kilomètres de long, du Nord-Ouest au Sud-Est, suit la côte du Pacifique, on voit qu'il y a quatre coupures, correspondant chacune à un rejet de la chaîne vers le Pacifique et la divisant en quatre tronçons distincts (planche n° 4). Dans chaque coupure, se trouve un bassin d'effondrement d'origine volcanique (lacs du Pacaya et de Nicaragua, baie de Fonseca, bassins de Cartago et de San Jose), et c'est là que se produisent les plus violents tremblements de terre et les plus grandes éruptions. Sur la ligne du Guatelema, la capitale a été détruite quatre fois, et le Fuego a eu dans ce siècle 12 éruptions; auprès de la baie de Fonseca, l'éruption du Coseguina (1835) a été, après celle du Krakatoa, la plus terrible du siècle; sur la ligne de Nicaragua, l'île d'Omotepe a été en 1883 entièrement recouverte de laves; sur celle de Cartago, au pied de Turrialba, les tremblements de terre sont nombreux et violents; Cartago a été quatre fois détruite.

Les fractures transversales de moindre importance sont d'ailleurs trop nombreuses dans le pays, pour que le rôle qui leur est attribué puisse être mis au compte de coïncidences fortuites. « La plupart des volcans, dit M. Suess (1), se

(1) La face de la terre (*Antlitz der Erde*), trad. française, t. 1, p. 22.

trouvent sur des axes transversaux indépendants, croisant à angle droit ou à angle aigu l'alignement principal. » Leur bouche de sortie a une tendance à se déplacer sur cet alignement, toujours vers le Pacifique, et ce déplacement est assez rapide pour être mis en évidence par les nouveaux cratères ouverts depuis un siècle. Ce sont (voir le croquis, Annexe II, page 117) des fractures transversales de 3^e ordre. De plus, au milieu de chaque tronçon, est une fracture plus importante, avec lac volcanique (Atitlan, Ilopango, Managua) et recrudescence marquée de l'activité souterraine (éruptions de l'Atitlan, ligne séismique du San Salvador et nouveau volcan de l'Ilopango en 1880, ligne séismique de Léon). Ce sont les fractures transversales de second ordre. Celles de premier ordre seules correspondent à un décrochement et à une interruption de la chaîne volcanique. Ce sont les plus exposées ; c'est une d'elles qu'adopterait le canal de Nicaragua.

Il semble même que les statistiques indiquent, dans le XIX^e siècle, une décroissance de l'activité dans le Guatemala, et une recrudescence dans le San Salvador et le Nicaragua. Si l'on fait la liste complète des éruptions ou des séismes destructeurs depuis la conquête espagnole, c'est le Guatemala qui vient en tête ; il ne vient plus qu'en troisième ligne, si la statistique ne s'applique qu'au siècle actuel. Trois de ses volcans se sont éteints, et un seul, le Fuego, a eu des éruptions depuis 1852, tandis que deux nouveaux volcans se sont élevés au San Salvador et un nouveau au Nicaragua. Les fractures transversales de premier ordre semblent montrer la même marche dans les phénomènes dont ils sont le théâtre : celle du Guatemala paraît un foyer en voie d'extinction ; celle de Fonseca, avec la catastrophe du Coseguina, est un foyer en pleine activité, et pour celle du Nicaragua, qui n'a pas encore montré la même violence, il y a lieu de la redouter pour l'avenir ; c'est un foyer en travail, et l'éruption de l'Omotepe, en 1883, ne serait qu'un avertissement.

Une catastrophe semblable à celle du Coseguina peut, il est vrai, ne produire, comme effets destructeurs, que des effets locaux et relativement peu importants. Mais elle peut aussi être précédée et accompagnée de tremblements de terre redoutables, et surtout elle pourrait soulever dans le lac une vague séismique, comme celle qui, en 1856, a détruit Omoa sur la côte du Honduras, ou comme celle qui, dans l'éruption du Krakatoa, s'est élevée à 22 et 36 mètres de hauteur sur les côtes de Sumatra et de Java.

Il existe donc pour le tracé du Nicaragua une menace précise et formidable ; la ligne qu'il emprunte n'est pas seulement la plus dangereuse du Nica-

ragua, c'est une ligne *homologue* de celle où s'est produite, en 1835, une des plus terribles éruptions du siècle, et l'assimilation s'impose d'autant plus que le maximum d'activité éruptive semble se déplacer et descendre vers le Nicaragua. Entre ces conditions inquiétantes et la longue ère de tranquillité dont Panama offre l'exemple, il y a un contraste frappant, qu'il n'était pas inutile de mettre en lumière.

CHAPITRE VII

Climatologie de l'Isthme.

Avant de rechercher par quels travaux il serait possible d'ouvrir à la navigation l'Isthme de Panama, il est nécessaire d'étudier le cadre dans lequel ces travaux doivent être exécutés. Au point de vue du climat, l'Isthme américain a mauvaise renommée. Le rapport de la Commission Guillemain définit ainsi les conditions climatologiques du pays :

« Sous le climat chaud, humide, énervant de l'Isthme, au milieu des effluves d'un sol argileux et plein de marécages, dans une contrée à peine habitée, couverte par une végétation tropicale que rien n'arrête, la race blanche ne peut pas, d'une façon continue au moins, accomplir un travail physique de quelque intensité. A la condition d'aller de temps en temps respirer un air plus salubre et retremper ses forces, l'Européen peut surveiller, conduire une machine, travailler même quand il est à l'abri du soleil et de la pluie, mais pour fouiller la terre, la charger et la transporter à l'aide de ses bras, comme il le fait dans nos climats, il doit y renoncer sous peine de voir promptement s'anéantir ses forces et sa santé. »

Nous pouvons, grâce aux observations nombreuses qui ont été faites par le personnel de la Compagnie et dont notre collègue, M. le Général Abbot, a bien voulu faire des résumés aussi complets que possible, serrer la question de plus près. Nous comparerons nos résultats avec ceux de la Guyane française, puisés dans les travaux faits sur ces questions par M. le docteur E. Maurel qui a bien voulu nous les communiquer.

Direction des vents.

Par suite de la température élevée qui règne dans les régions équatoriales, il s'y produit une ascension de l'air, un appel qui doit donner des vents du

Nord dans l'hémisphère Nord, et du Sud dans l'hémisphère Sud; ces vents en raison de la rotation de la terre, deviennent des vents de direction Nord-Est et Sud-Ouest.

Mais l'équateur géographique ne coïncide pas avec l'équateur thermique, courbe qui joint les points de température annuelle maximum. Cette courbe passe au Sud et très près de Panama, par suite d'un grand courant marin, qui y transporte les eaux équatoriales de l'Atlantique et élève la température de l'Amérique Centrale.

En fait, d'après les observations recueillies à Colon, les vents se répartissent ainsi :

| | Saison sèche (janvier, février, mars, avril). | Saison pluvieuse (autres mois). | Année entière. |
|------------------------------------|---|------------------------------------|----------------|
| Vents entre N.-O. et N.-E. | 95 0/0 | 36 0/0 | 55 0/0 |
| Vents entre S.-E. et S.-O. | 2 0/0 | 51 0/0 | 35 0/0 |
| Autres directions. | 3 0/0 | 13 0/0 | 10 0/0 |
| | 100 0/0 | 100 0/0 | 100 0/0 |

Pendant la saison pluvieuse, l'axe de la nappe ascendante de l'air, qui suit plus ou moins le soleil, se trouve reporté au Nord de l'Isthme, ce qui explique la prédominance des vents du Sud.

Panama se trouve abrité des vents du N.-E. par la chaîne des montagnes et ne subit leur influence pendant la saison sèche que d'une façon moins sensible que Colon. Il est probable que la coupure du col de la Culebra modifiera cette situation, et, quoique la tranchée ne soit que commencée, l'effet de cette percée semble déjà appréciable.

Températures.

La proximité de l'Equateur, l'extrême humidité de l'air, qui rend peu sensible l'influence du rayonnement céleste, font de l'Isthme de Panama l'un des points du globe où la température est la plus constante. Les variations saisonnières aussi bien que les variations diurnes y sont extrêmement faibles.

Voici différents tableaux donnant les moyennes des températures observées pendant six années, de 1882 à 1887 :

Températures à Colon.

| MOIS | MAXIMA | MINIMA | MOYENNES |
|----------------|--------|--------|----------|
| Janvier..... | 32°7 | 20°2 | 26°45 |
| Février..... | 32°0 | 20°7 | 26°35 |
| Mars..... | 32°2 | 20°4 | 26°30 |
| Avril..... | 32°5 | 20°2 | 26°35 |
| Mai..... | 32°9 | 20°3 | 26°60 |
| Juin..... | 32°7 | 20°6 | 26°65 |
| Juillet..... | 32°5 | 20°7 | 26°65 |
| Août..... | 32°9 | 19°4 | 26°15 |
| Septembre..... | 33°1 | 20°8 | 26°95 |
| Octobre..... | 33°3 | 21°4 | 27°35 |
| Novembre..... | 33°0 | 20°4 | 26°70 |
| Décembre..... | 33°1 | 21°1 | 26°60 |
| | 32°7 | 20°4 | 26°59 |

Températures à Gamboa.

| MOIS | MAXIMA | MINIMA | MOYENNES |
|----------------|--------|--------|----------|
| Janvier..... | 32°4 | 15°8 | 24°10 |
| Février..... | 32° | 15°2 | 23°60 |
| Mars..... | 32°6 | 15°7 | 24°15 |
| Avril..... | 33°9 | 15°9 | 24°90 |
| Mai..... | 35°3 | 18°4 | 26°85 |
| Juin..... | 36°4 | 19°0 | 27°70 |
| Juillet..... | 33°2 | 20°3 | 26°75 |
| Août..... | 33°0 | 20°2 | 26°60 |
| Septembre..... | 34°3 | 20°0 | 27°15 |
| Octobre..... | 34°1 | 19°0 | 26°55 |
| Novembre..... | 33°8 | 19°8 | 26°80 |
| Décembre..... | 33°0 | 18°5 | 25°75 |
| | 33°6 | 18°2 | 25°91 |

Températures à Panama (Naos).

| MOIS | MAXIMA | MINIMA | MOYENNES |
|----------------|--------|--------|----------|
| Janvier..... | 33°0 | 20°2 | 26°60 |
| Février..... | 32°7 | 19°6 | 26°15 |
| Mars..... | 33°4 | 19°3 | 26°35 |
| Avril..... | 34°8 | 20°5 | 27°65 |
| Mai..... | 34°9 | 20°9 | 27°90 |
| Juin..... | 35°7 | 22°0 | 28°85 |
| Juillet..... | 35°4 | 21°2 | 28°30 |
| Août..... | 34°3 | 21°7 | 28°0 |
| Septembre..... | 34°1 | 21°8 | 27°95 |
| Octobre..... | 32°9 | 22°0 | 27°45 |
| Novembre..... | 32°5 | 21°1 | 26°80 |
| Décembre..... | 32°8 | 20°8 | 26°80 |
| | 33°9 | 20°9 | 27°40 |

En ce qui concerne les variations diurnes, elles sont un peu plus fortes dans la saison sèche que dans la saison humide, le degré hygrométrique étant un peu moindre : 0,77 au lieu de 0,86.

Les tableaux ci-dessus montrent que la température moyenne mensuelle oscille : à Colon entre 26°15 et 27°35, à Gamboa entre 23°60 et 27°70 et à Panama entre 26°15 et 28°85. Les variations saisonnières sont donc presque nulles à Colon et un peu plus marquées à Gamboa.

Les mois les moins chauds sont janvier, février et mars. A Colon et à Panama, les écarts entre les maxima et les minima sont d'environ 12°. A Gamboa ils atteignent 15°. Les matinées sont relativement fraîches dans la traversée des montagnes par le canal. Cette fraîcheur est encore plus marquée quand on remonte le cours du Chagres. Nous avons constaté à Alhajuela un phénomène de condensation extraordinaire, dû à la fois au refroidissement de la température et à l'abondance de la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Pendant la nuit, l'eau se déposait sur les arbres et les toits des maisonnettes de notre campement et tombait abondamment sur le sol en grosses gouttes, sans que la transparence de l'air cessât d'être complète et admirable, et la chute sur le sol de ces gouttes d'eau, au milieu du scintillement des étoiles, produisait un singulier effet.

Comme terme de comparaison, nous reproduisons d'après M. le docteur Maurel le tableau résumant les observations de températures faites à Cayenne en 1865.

Températures dans la Guyane, à Cayenne.

| MOIS | MAXIMA | MINIMA | MOYENNES |
|---------------------|--------|--------|----------|
| Janvier | 26°7. | 24°3 | 25°6 |
| Février | 26°2 | 25°2 | 25°3 |
| Mars | 27°5 | 24°8 | 26°2 |
| Avril | 29°7 | 24°2 | 27°6 |
| Mai | 28°2 | 25°4 | 25°1 |
| Juin | 26°5 | 24°8 | 26°3 |
| Juillet | 28°2 | 24°6 | 26°2 |
| Août | 28°1 | 24°1 | 27°1 |
| Septembre | 29°3 | 24°4 | 26°4 |
| Octobre | 29°9 | 24°3 | 27°8 |
| Novembre | 29°9 | 24°8 | 25°7 |
| Décembre | 29°3 | 24°1 | 26°2 |
| | 28°6 | 24°8 | 26°5 |

Les températures moyennes mensuelles à la Guyane oscillent entre 25° et 28°. Les moyennes de saison fraîche et de saison chaude ne s'écartent pas de plus de 3°. Les mois les plus chauds sont août, septembre, octobre et novembre, les moins chauds décembre, janvier et février.

Comme variation diurne, on constate que c'est à 6 h. du matin que la température est la moins élevée. Elle atteint son maximum entre midi et 2 h. et s'y maintient jusque vers 3 h. Ces variations vont de 1 à 4 degrés.

L'humidité de l'atmosphère est extrême. Parmi les observations mensuelles, il n'y a pas de moyenne inférieure à 77 0/0 et on dépasse souvent 85 0/0. La moyenne annuelle pour huit années a été de 83,10.

En rapprochant ces chiffres de ceux qui ont été trouvés dans l'Isthme, on constate que la température moyenne annuelle est exactement la même à Cayenne qu'à Colon, mais les écarts entre les températures maxima et minima sont

encore plus faibles ; les variations saisonnières et diurnes sont moindres, et, si la moyenne est la même, la température est encore plus constante à la Guyane que dans l'Isthme.

Pressions barométriques.

D'après les observations faites pendant une année à Colon, en 1881, la moyenne annuelle des pressions barométriques est de 759^{mm}4 ; le maximum a été de 762^{mm}4, le 26 février, et le minimum de 754^{mm}5 le 18 novembre. Les moyennes mensuelles oscillent entre 760^{mm}5 en avril et 757^{mm}7 en novembre ; elles sont plus faibles pendant la saison pluvieuse que pendant la saison sèche.

Les variations diurnes sont peu sensibles : la pression atteint deux maxima à 9 h. du matin et à 10 h. du soir. Les écarts avec la moyenne sont 1^{mm}23 et 0^{mm}80, 0^{mm}53 et 1^{mm}20.

A l'hôpital de Cayenne, la moyenne mensuelle d'observations faites pendant 13 ans accuse pour minimum 759,026 en décembre, et pour maximum 760,726 en juillet. Les oscillations diurnes sont inférieures à 2 millimètres.

Toutes ces observations sont concordantes, et montrent une fixité tout à fait exceptionnelle de la pression barométrique.

Pluviométrie.

Le tableau ci-après donne la moyenne de nombreuses observations pluviométriques faites depuis l'année 1881. Nous avons choisi trois postes indiquant les hauteurs d'eau tombées sur l'Atlantique, au milieu de l'Isthme et sur le Pacifique.

Tableau des hauteurs pluviométriques.

| MOIS | INDICATION DES POSTES | | |
|----------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| | COLON | GAMBOA | PANAMA |
| Janvier..... | 74 ^{mm} | 36 ^{mm} | 13 ^{mm} |
| Février..... | 36 | 20 | 18 |
| Mars..... | 61 | 20 | 39 |
| Avril..... | 130 | 81 | 72 |
| Mai..... | 328 | 297 | 193 |
| Juin..... | 351 | 266 | 200 |
| Juillet..... | 394 | 247 | 193 |
| Août..... | 417 | 330 | 173 |
| Septembre..... | 348 | 296 | 190 |
| Octobre..... | 342 | 347 | 241 |
| Novembre..... | 517 | 301 | 294 |
| Décembre..... | 399 | 211 | 70 |
| | 3 ^m 307 | 2 ^m 452 | 1 ^m 696 |

On voit qu'il n'y a en réalité dans l'Isthme que deux saisons, la saison sèche qui comprend les mois de janvier, février, mars et la moitié d'avril, et la saison humide qui s'étend aux autres mois.

La quantité d'eau qui tombe sur le versant atlantique est à peu près le double de celle qui tombe sur le versant pacifique : ce fait semble s'expliquer par la rencontre des vents du Nord avec l'atmosphère chaude et humide de la région. Dans la saison pluvieuse, il se produit deux maxima au mois d'août et au mois de novembre : ce dernier est le plus important.

La comparaison de ces résultats avec ceux qui ont été observés à la Guyane fait une fois de plus ressortir la presque identité de climat qui existe à Colon et à Cayenne. La seule différence consiste dans une avance de la saison sèche due à la différence des latitudes. A Cayenne, la moyenne de hauteur d'eau tombée par année, établie sur 18 années d'observations, a été de 3^m320 ; on a vu qu'à Colon, cette moyenne est de 3^m307.

L'année se divise en deux périodes, l'une pluvieuse de décembre à juin,

l'autre sèche, août, septembre et octobre; juillet et novembre sont intermédiaires. Les saisons sont donc à la Guyane de 4 mois en avance sur l'Isthme.

Salubrité.

M. le Docteur Lacroisade a bien voulu faire le relevé de l'état sanitaire du personnel et des ouvriers depuis l'origine des travaux; ce relevé établit que la situation, à ce point de vue, s'est beaucoup améliorée.

Nous allons indiquer les principaux résultats de cette étude.

Il est nécessaire de diviser ces relevés en trois périodes distinctes :

Première période. — Travaux de la Compagnie universelle, du 1^{er} janvier 1881 au 1^{er} janvier 1889.

Deuxième période. — Liquidation, du 1^{er} janvier 1889 au 1^{er} janvier 1895.

Troisième période. — Travaux de la Compagnie nouvelle, du 1^{er} janvier 1895 au 1^{er} juillet 1898.

Les cas de morbidité ou de mortalité peuvent être classés en deux catégories, suivant qu'ils ont pour causes des maladies d'Europe, ou des maladies qu'on doit attribuer au climat : les maladies endémiques paludéennes (fièvres intermittentes, rémittentes, bilieuses et hématuriques, accès pernicioeux, cachexie paludéenne), anémie, dysenterie; les épidémiques ou maladies importées, fièvre jaune et bérubéri, variole etc.

État sanitaire pendant la première période.

| ANNÉES | EFFECTIFS annuels | MORBIDITÉ MOYENNE | | | MORTALITÉ MOYENNE | | |
|--------|----------------------|----------------------|---------------------------|---------|----------------------|---------------------------|--------|
| | | MALADIES d'Europe | MALADIES climatériques | TOTALE | MALADIES d'Europe | MALADIES climatériques | TOTALE |
| 1881 | 928 | 21,02 % | 42,02 % | 63,04 % | 1,94 % | 4,74 % | 6,68 % |
| 1882 | 1.910 | 18,85 % | 47,64 % | 66,49 % | 2,21 % | 4,39 % | 6,60 % |
| 1883 | 6.287 | 23,24 % | 42,62 % | 65,86 % | 2,20 % | 4,46 % | 6,66 % |
| 1884 | 17.615 | 27,58 % | 36,95 % | 64,57 % | 2,58 % | 4,08 % | 6,66 % |
| 1885 | 15.215 | 11,93 % | 49,14 % | 61,07 % | 1,73 % | 3,79 % | 5,52 % |
| 1886 | 14.935 | 14,01 % | 43,88 % | 57,89 % | 1,67 % | 3,43 % | 5,10 % |
| 1887 | 16.217 | 21,82 % | 39,25 % | 61,07 % | 2,22 % | 3,99 % | 6,21 % |
| 1888 | 13.725 | 12,17 % | 40,46 % | 52,63 % | 1,81 % | 2,54 % | 4,35 % |
| | | 18,83 % | 42,75 % | 61,58 % | 2,05 % | 3,92 % | 5,97 % |

Il semble que, dès cette première période, l'état sanitaire allait en s'améliorant, puisque le nombre des décès en 1888 était tombé à 4,3 0/0, alors, que pendant les premières années il était de 6,6 0/0. En 1887, le chiffre élevé de la morbidité et de la mortalité est dû à des épidémies de variole et de bérubéri, qui se sont éteintes par la vaccination et par la disparition des Chinois et des Africains amenés pour augmenter le personnel ouvrier.

L'amélioration des conditions de l'existence et des installations a sans doute contribué à rendre moins mauvais l'état sanitaire, mais il faut également attribuer ce résultat à la nature même du travail exécuté, et il n'est pas douteux qu'à mesure que les tranchées s'approfondissent, qu'on s'éloigne de la couche superficielle du sol, les fouilles pratiquées par les ouvriers sont moins insalubres.

Pendant les premières années, le personnel a dû exécuter des études, des travaux de déblaiement de forêts vierges, des remuements des premières couches de terres vierges, souvent au milieu de marécages, toujours au milieu de miasmes telluriques, et le taux de la mortalité due aux seules maladies climatiques s'est élevé à 4,74 0/0.

Le taux de la mortalité due aux maladies d'Europe n'est, pour cette première période, que de 2,05 0/0, alors qu'en France il est en moyenne de 2,40 0/0. Cette différence s'explique par l'immunité presque complète de l'Isthme pour certaines maladies qui, en Europe, causent de nombreux décès.

Le nombre des décès constatés pendant ces huit premières années a été de 4.987, parmi lesquels 1.018 doivent être attribués à la fièvre jaune.

Pendant la deuxième période, il n'a été conservé que le personnel nécessaire à l'entretien des immeubles et du matériel ; l'effectif moyen, de 1.826 en 1889, est tombé à 800 environ pendant les années suivantes. Mais les abords du canal avaient été assainis par la culture ; une partie des marais de l'Isthme avaient disparu comme conséquence des travaux ; à Panama et à Colon, des jardins publics ont remplacé d'anciens marécages, de sorte que le taux moyen de la morbidité générale est tombé de 61,58 0/0 à 49,68 0/0 et celui de la mortalité de 5,97 0/0 à 2,88 0/0.

Voici pour la troisième période, qui comprend les années d'études et de travaux préparatoires de la Compagnie nouvelle, un tableau analogue à celui que nous avons produit pour la première période

État sanitaire pendant la troisième période.

| ANNÉES | EFFECTIFS annuels | MORBIDITÉ MOYENNE | | | MORTALITÉ MOYENNE | | |
|----------------|----------------------|----------------------|---------------------------|---------|----------------------|---------------------------|--------|
| | | MALADIES d'Europe | MALADIES climatériques | TOTALE | MALADIES d'Europe | MALADIES climatériques | TOTALE |
| 1895 | 1.225 | » | » | 49,95 ‰ | 2,05 ‰ | 0,89 ‰ | 2,94 ‰ |
| 1896 | 2.715 | » | » | 39,91 ‰ | 2,08 ‰ | 0,84 ‰ | 2,92 ‰ |
| 1897 | 3.980 | » | » | 51,85 ‰ | 1,99 ‰ | 1,00 ‰ | 2,99 ‰ |
| | | Moyenne pour 3 ans. | | 50,57 ‰ | 2,04 ‰ | 0,91 ‰ | 2,95 ‰ |
| 1898 6 mois | 3.630 | » | » | 24,35 ‰ | 0,99 ‰ | 0,41 ‰ | 1,40 ‰ |

La mortalité due aux maladies d'Europe, qui était de 2,05 0/0 pendant la première période s'est maintenue à peu près la même, 2,04 0/0, pendant la troisième période. Mais la mortalité est tombée de 5,97 0/0 à 2,95 0/0, soit une réduction de moitié environ.

La fièvre jaune a à peu près disparu depuis 1889. Une seule épidémie sans grande gravité a fait son apparition en 1897 : 10 cas, dont 6 mortels, ont été constatés dans le personnel de la Compagnie.

M. le D^r Lacroisade apprécie ainsi qu'il suit la résistance au climat de l'Isthme des différentes races.

1°. — Les noirs indigènes et surtout des Antilles sont ceux qui offrent le plus de résistance par leur endurance au soleil, par leur immunité relative contre le paludisme, par leur immunité complète contre la fièvre jaune.

L'Hindou, le Chinois, l'Africain résistent moins, et, occupés à des travaux fatigants, succombent en masse aux attaques du bérubéri dont ils ont apporté les germes.

2°. — Actuellement l'Européen peut résister au climat de l'Isthme à la condition de ne pas se livrer au travail de la terre.

Il a été difficile d'établir exactement le taux de mortalité de l'Européen, par suite du peu de stabilité du personnel ouvrier. Mais pour le personnel classé, sur 254 agents envoyés par l'ancienne Compagnie du 1^{er} janvier 1881 au 31 août 1883, il en est mort 40, ce qui correspond au taux de 7,20 0/0 par an.

Sur 89 agents envoyés par la Compagnie nouvelle 3 seulement, sont morts.

On ne peut donc mettre en doute l'amélioration de l'état sanitaire de l'Isthme, amélioration qui est due aux conditions d'existence meilleures faites aux ouvriers, à l'exécution de certains travaux d'assainissement, enfin et surtout à ce fait que les terrassements ne s'exécutent plus à la surface du sol, mais dans des couches profondes qui ne renferment plus de matières organiques en décomposition.

Il y a presque identité entre le climat de l'Isthme de Panama, et celui de la Guyane. Il est intéressant de rechercher si l'état sanitaire de ces deux régions n'est pas également semblable; le traité des maladies paludéennes à la Guyane, de M. le D^r Maurel, fournit tous les éléments de cette comparaison, et nous permet d'appuyer de sa haute autorité les conclusions que justifie ce résumé de la climatologie de l'Isthme.

Ce qui domine la pathologie de la Guyane, ce sont les endémies. Sur 29.178 malades traités à l'hôpital de Cayenne de 1858 à 1867, 16.666 appartiennent aux endémies et 12.512 seulement aux autres divisions du cadre pathologique.

L'effectif de la Colonie pénitentiaire du Maroni pendant l'année 1877 a varié de 1.000 à 1.200. Pendant le premier semestre seulement, il y a eu 257 atteintes graves de paludisme. C'est un taux de morbidité de 23 0/0 pour six mois ou 46 0/0 par an, analogue au taux moyen atteint à l'Isthme dans la première période des travaux pour les maladies climatériques.

Au point de vue de la résistance des races au paludisme, M. le D^r Maurel publie un tableau des décès constatés pendant 15 ans pour les Européens, les Arabes et les noirs. Il en résulte que, en moyenne, les Européens meurent dans la proportion de 12 0/0, les Arabes 8,54 0/0 et les noirs dans la proportion de 5,75 0/0.

Cette mortalité est la mortalité générale, mais le plus grand nombre des décès est dû aux maladies paludéennes.

Nous nous bornerons, pour terminer ce qu'il peut être intéressant de connaître d'une manière générale sur cette question, à reproduire les conclusions données par M. le D^r Maurel dans une note sur la prophylaxie du paludisme, et qui confirment pleinement celles auxquelles est arrivé, sur le même sujet, M. le D^r Lacroisade :

1°. — Dans la zone intertropicale, il faut renoncer à faire exécuter les ter-

rassements par des Européens, du moins pour les régions où l'altitude ne corrige pas les effets de la latitude ;

2 .— Ces travaux, toutes les fois qu'on le peut, doivent être confiés à la race noire qui les fait sans danger ;

3°. — Les atteintes du paludisme, en dehors des terrassements, peuvent être nombreuses, mais sont rarement mortelles ;

4°. — Les Européens peuvent vivre dans la zone intertropicale, et y exercer des fonctions de direction et de surveillance.

CHAPITRE VIII

Régime des Cours d'eau.

Pour compléter ce qui a trait à la climatologie de l'Isthme de Panama, nous présentons un essai d'étude du régime des cours d'eau, du moins de ceux qui se trouvent situés dans la zone du canal projeté, le Rio Grande, qui se jette dans le Pacifique, et sur le versant atlantique le Rio Chagres, et le Rio Obispo, son principal affluent. L'ancienne Compagnie et aussi la Compagnie nouvelle ont fait procéder à de nombreuses observations sur le débit et la hauteur que peuvent atteindre les eaux de ces rivières : M. le Général Abbot a fait un relevé aussi minutieux et aussi judicieux que possible de ces observations. Nous nous bornerons à donner des résultats obtenus une analyse sommaire et à rappeler les chiffres indispensables à connaître pour l'examen des différents projets étudiés pour la construction du canal.

Le Rio Grande a son origine à une faible distance de la Culebra ; c'est un fleuve de peu d'importance. Son débit pendant l'année 1896, de 1^m08 par seconde en moyenne, aurait oscillé entre un minimum à peu près nul pendant la saison sèche, et un maximum de 7^m126 pendant le mois de novembre. Le maximum le plus fort constaté aurait été de 14^m32 au mois d'août 1895.

Pour le Rio Obispo, le débit moyen serait de 17^m80, variant entre un minimum de 1^m73 et un maximum de 88^m.

Ces cours d'eau ne peuvent constituer un danger ni même une gêne pour le futur canal.

Il n'en est pas de même du Rio Chagres.

Ce fleuve sort des Cordillères et traverse une région montueuse peu connue en amont d'Alhajuela.

D'Alhajuela à Gamboa, la pente est de 14 mètres pour un parcours de 19 kilomètres ; le fond du lit est formé de sables et de graviers de différente grosseur, selon la vitesse des courants qui les ont apportés, de sorte que le fleuve lui-même a classé les matériaux et formé des dépôts propres à la con-

fection du mortier et du béton. Les grandes crues transportent des arbres arrachés aux berges rongées par les courants, dont les débris donnent aux eaux, ordinairement claires, une couleur bourbeuse : mais le plus souvent le fleuve coule entre des rochers, et l'on n'a pas à craindre d'apports considérables en aval de Gamboa.

Le tracé du canal emprunte la vallée du Chagres depuis Colon jusqu'à Gamboa, c'est-à-dire sur plus de 40 kilomètres. L'importance de ce fleuve, qui roule parfois un volume d'eau considérable, est de premier ordre, et de la solution définitive à adopter pour l'exécution du canal dépendent les mesures à prendre pour se protéger de ses eaux ou les utiliser. Si on veut envisager la construction d'un canal à niveau, l'isolement du fleuve s'impose : on devrait alors le considérer comme un adversaire, et il faudrait ou réduire le débit maximum du fleuve et de ses affluents par des ouvrages de retenue considérables, dont la réussite n'est rien moins que certaine, ou le dériver et jeter ses eaux dans une autre vallée se déversant dans la mer, suivant un programme dont les bases restent à trouver. Dans la solution du canal à écluses, le Rio Chagres devient au contraire un auxiliaire ; tout en régularisant son débit, on doit s'en servir pour alimenter le bief de partage, ou la mer intérieure à créer par un ouvrage de retenue. De toute manière, il est nécessaire de connaître, aussi exactement que possible, le régime de ce fleuve ; de nombreuses observations ont été faites pour en fixer les données principales ; mais le problème est complexe ; les mesures de vitesses, dans le courant d'un fleuve, sont délicates et on doit considérer les résultats obtenus comme une indication suffisante pour fixer les limites extrêmes des débits, plutôt que comme l'expression de faits indiscutables.

On a pris comme mesure des débits du fleuve, le produit des vitesses moyennes, déduites d'observations, par les sections mouillées ; on a établi ainsi sur une expérience de dix années des courbes donnant les débits correspondant à chaque hauteur du plan d'eau, de telle sorte qu'il suffit, à défaut de jaugages directs, de constater par un fluviographe ces hauteurs, pour avoir une évaluation du débit.

Cette méthode ne peut donner de résultats absolument exacts ; la même hauteur de l'eau ne correspond pas à un débit identique ; nous indiquerons seulement deux des causes qui ne permettent pas d'admettre le principe d'une manière rigoureuse.

Lorsque le fleuve est en crue, les vitesses et par conséquent les débits, pour

les mêmes hauteurs, sont plus grands que lorsqu'il est en décrue ; cette différence dans les vitesses est pourtant moins sensible dans un fleuve torrentiel comme le Chagres que dans un cours d'eau à pente faible.

Les sections d'écoulement se modifient constamment par des corrosions ou des dépôts et on a dû refaire à diverses reprises le lever des profils.

Malgré ces causes d'erreurs, le relevé des observations faites jusqu'à ce jour fournit des indications précieuses ; nous les résumons dans le tableau ci-après qui donne pour trois points du Chagres, Bohio, Gamboa et Albajuela, les débits les plus faibles qui aient été constatés, les débits moyens pour chaque mois, et les débits des crues les plus fortes : ces chiffres résultent de jaugeages observés directement, sauf pour les crues exceptionnelles où ils ont été déduits des courbes construites comme nous l'avons indiqué ; cependant pour les crues de 1890 et 1893, il a été fait des observations directes.

Tableau des débits du Chagres.

| NATURE DES OBSERVATIONS | BOHIO (Bas Chagres) | | GAMBOA (Moyen Chagres) | | ALHAJUELA (Haut Chagres) | | OBSERVATIONS |
|------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|---|
| | DÉBITS par seconde | COTES du plan d'eau | DÉBITS par seconde | COTES | DÉBITS par seconde | COTES | |
| | mètres cubes. | mètres cubes. | mètres cubes. | mètres cubes. | mètres cubes. | mètres cubes. | |
| Débits minima .. | 45 | 0,30 | 11 | 14 | 9 | 28,4 | |
| Débits moyens par mois : | | | | | | | |
| Janvier..... | 100 | 1,48 | 81 | 15 | 59 | 29,3 | Ces moyennes ont été établies par M. l'ingé- nieur Berthot, d'après les obser- vations faites de 1889 à 1898 à Bohio et à Gam- boa. |
| Février..... | 41 | 1,75 | 31 | 14,45 | 22 | 28,80 | |
| Mars..... | 28 | 0,55 | 23 | 14,25 | 18 | 28,60 | |
| Avril..... | 44 | 0,80 | 42 | 14,56 | 33 | 28,90 | |
| Mai..... | 126 | 1,70 | 87 | 15,17 | 69 | 29,4 | |
| Juin..... | 124 | 1,68 | 81 | 15,15 | 63 | 29,2 | |
| Juillet..... | 183 | 2,35 | 104 | 15,21 | 80 | 29,5 | |
| Août..... | 197 | 2,50 | 122 | 15,30 | 84 | 29,6 | |
| Septembre..... | 195 | 2,50 | 112 | 15,25 | 78 | 29,5 | |
| Octobre..... | 221 | 2,65 | 126 | 15,34 | 84 | 29,6 | |
| Novembre..... | 254 | 2,95 | 192 | 15,62 | 125 | 29,9 | |
| Décembre..... | 234 | 2,75 | 158 | 15,52 | 115 | 29,8 | |
| Moyenne annuelle | 146 | | 96 | | 69 | | |
| Crue normale... | 1.170 | 7,90 | 780 | 20 | 580 | 33,50 | |
| Crues exception- nelles : | | | | | | | |
| Novembre 1879. | 3.100 | 12 | 2.041 | 25,20 | 1.390 | 38 | Chiffres indi- qués par M. le Général Abbot pour Bohio et Gamboa. — Nous portons pour Al- hajuela des pré- sompions. |
| Novembre 1885. | 2.200 | 10,30 | 1.638 | 23,60 | 1.100 | 36,60 | |
| Décembre 1888. | 2.320 | 10,57 | 1.628 | 23,56 | 1.080 | 36,58 | |
| Décembre 1890. | 1.960 | 9,80 | 1.663 | 23,70 | 1.120 | 36,65 | |
| Décembre 1893. | 1.517 | 8,70 | 1.207 | 21,72 | 750 | 34,80 | |

Le régime du Chagres est torrentiel, comme il était à prévoir pour un fleuve qui coule sur des terrains peu perméables, et dans une région où se produisent des pluies exceptionnelles, de véritables abats d'eau. Le rapport entre le débit maximum et le débit le plus faible est considérable.

La Seine, à Paris, a un débit minimum de 90 mc. et un débit maximum de 3.300 mc. Rapport 37.

La Garonne, à Toulouse : débit minimum 36, maximum 5.700. Rapport 158.

Le Potomac, à Point of Rocks, Maryland, en amont de Washington (observations de 1895 à 1896) : débit maximum 4870 mc., débit minimum 23 mc. Rapport 212.

Pour le Chagres à Bohio, ce rapport serait 221.

Mais il convient de remarquer que ce débit de 3.100 mètres à la seconde a été déduit d'une courbe établie sur un principe d'une exactitude plus ou moins contestable, et nous le considérons comme un maximum qui n'a peut-être jamais été atteint. En prenant ce chiffre pour base du calcul des réserves nécessaires à la régularisation du régime du fleuve, on se trouve par conséquent dans des conditions de sécurité absolue.

Les crues du Chagres, si elles sont considérables, sont de courte durée. La crue de 1893 a fait l'objet d'un rapport spécial de M. l'Ingénieur Mange. A Gamboa, la montée s'est opérée en 72 heures, du 18 décembre à 8 heures du matin au 21 à 8 heures, et la baisse des eaux en 178 heures.

M. le Général Abbot déclare que la crue de 1879 est la plus grande des crues connues de mémoire de riverain et certainement la plus forte qui se soit produite depuis la construction du Panama Rail Road en 1850-1855.

Pour cette crue, les débits moyens par seconde seraient pendant 48 heures à Gamboa de 1.633 mètres cubes, et à Bohio pendant 96 heures de 2.263 mètres. Les volumes d'eau à emmagasiner pour que le débit ne dépasse pas 1.000 mètres à Gamboa et 1.200 mètres à Bohio, seraient de 90 millions dans le Haut Chagres et de 150 millions de mètres cubes dans le Bas Chagres.

Pour la crue de 1888, les débits seraient de 1.270 et de 1.693 mètres, et les volumes d'eau à emmagasiner de 40 et 80 millions de mètres cubes.

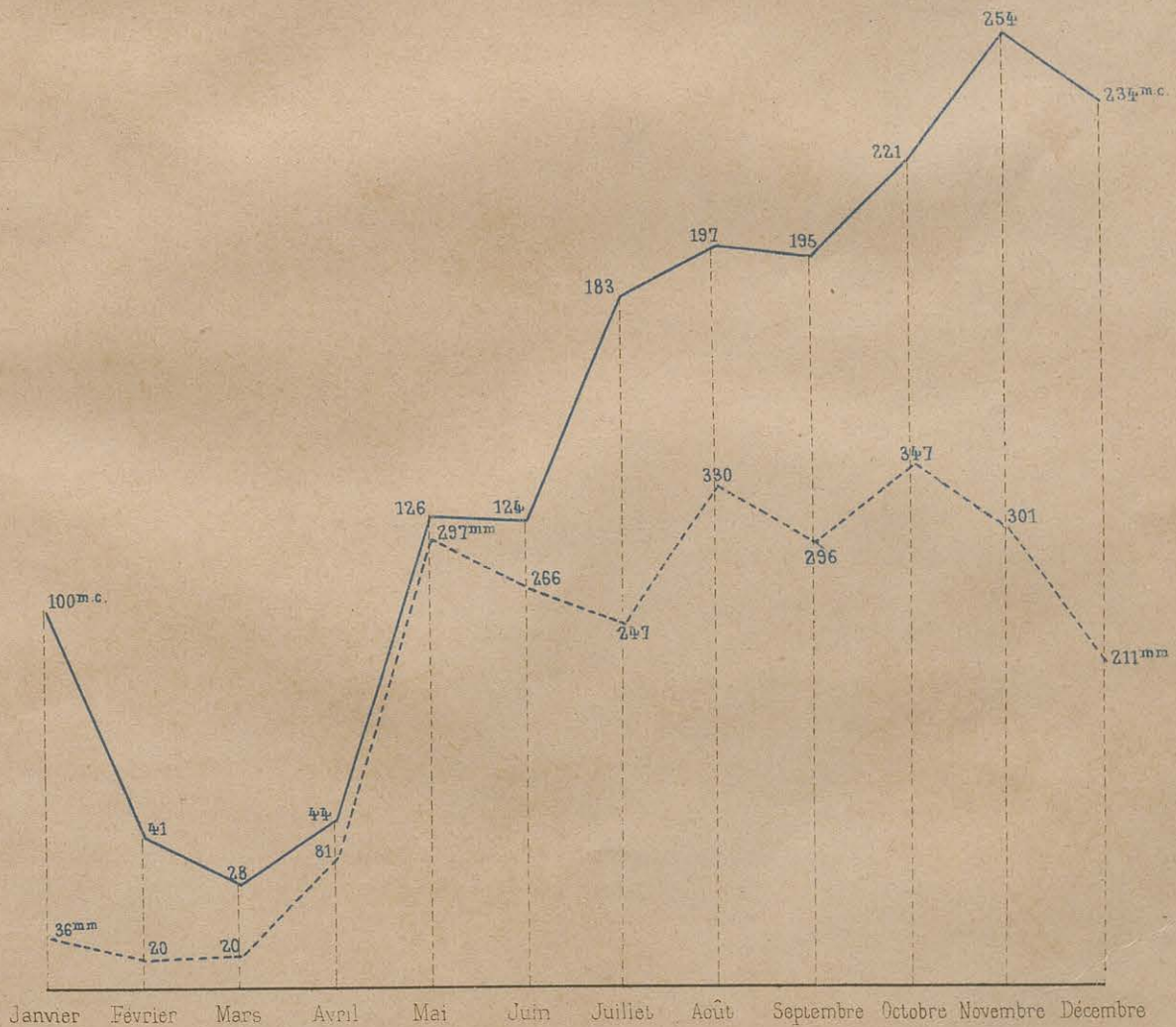
Nous croyons utile d'ajouter qu'il se produit fréquemment, pendant la saison pluvieuse, des crues de moindre importance : le tableau ci-après donne un aperçu de ces crues d'après les observations faites au fluviographe de Gamboa.

DIAGRAMME INDICATIF

des débits moyens mensuels du Chagres à Bohio
et des hauteurs d'eaux pluviales
constatées en moyenne par mois à Gamboa



- Courbes des débits du Chagres à Bohio
- - - Courbes des hauteurs d'eau pluviométriques mensuelles à Gamboa



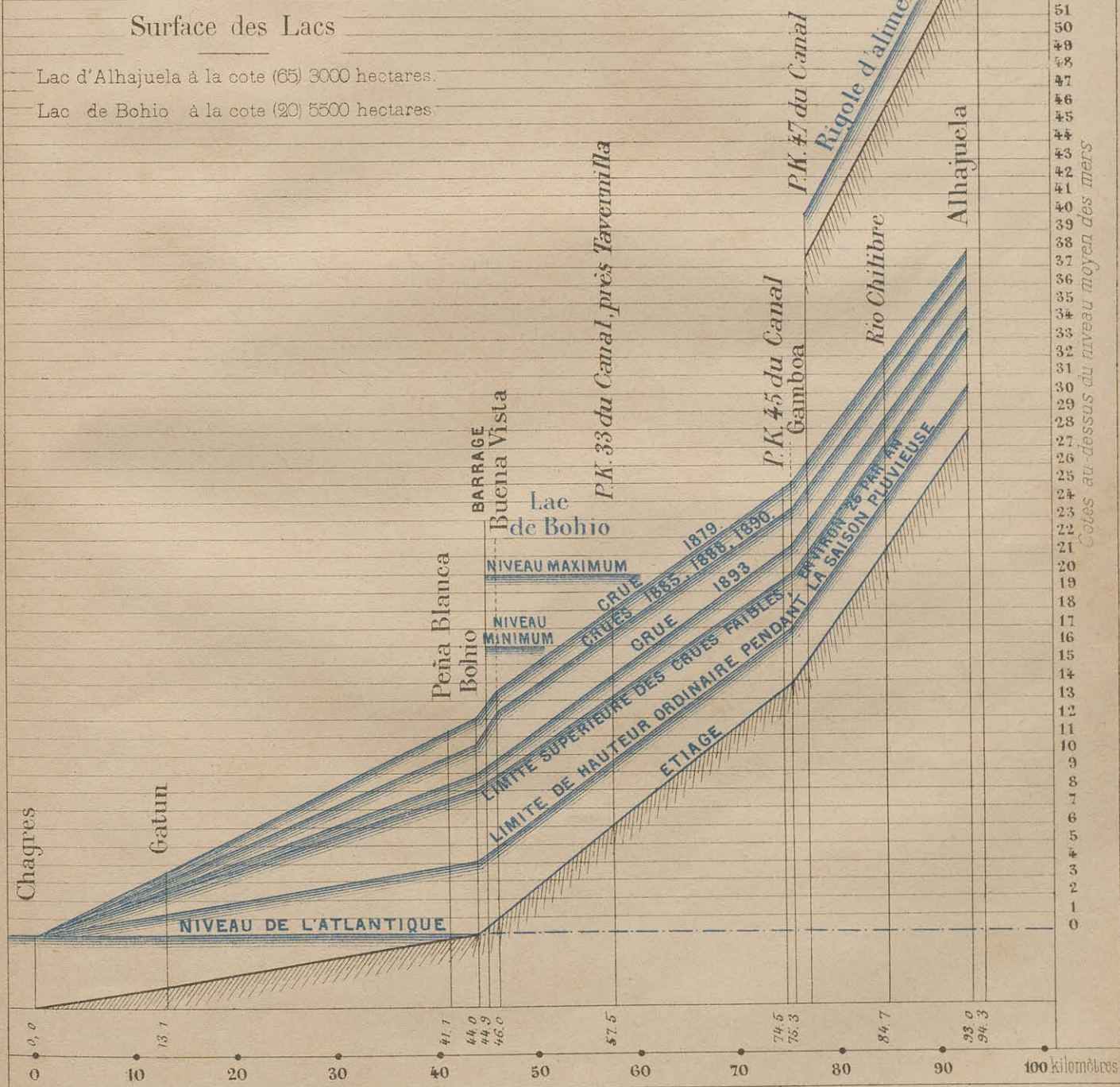
CROQUIS INDIQUANT LES HAUTEURS D'EAU entre Alhajuela et la mer

Débits maximum par seconde

| | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Cruce 1879 | à Bohio 3100 ^{m³} | à Gamboa 2040 ^{m³} |
| Cruces 1885, 1888, 1890 | » 2200 | » 1650 |
| Cruce 1893 | » 1520 | » 1210 |
| Limite supérieure des crues faibles | » 1200 | » 820 |
| Limite de hauteur ordinaire | » 400 | » 300 |
| Étiage extrême | » 15 | » 11 |

Surface des Lacs

Lac d'Alhajuela à la cote (65) 3000 hectares.
Lac de Bohio à la cote (20) 5500 hectares.



| ÉPOQUES D'OBSERVATIONS | NOMBRE MOYEN DES CRUES PAR AN | COTES DU PLAN D'EAU | DÉBITS PAR SECONDE |
|---|----------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Observations faites pendant onze années.. | 17 | 17.50 | 455 |
| | 7 | 18.50 | 628 |
| | 2 | 19.50 | 820 |
| | 2 | 20.50 | 1050 |
| Année 1886 où le nombre des crues a atteint son maximum..... | 26 | 17.50 | 455 |
| | 14 | 18.50 | 628 |
| Année 1891 où le nombre des crues a été le plus faible | 5 | 17.50 | 455 |
| | 4 | 18.50 | 628 |
| | 1 | 19.50 | 820 |

Le nombre des crues ordinaires du Chagres oscille donc chaque année entre 10 et 40 et est en moyenne de 28.

Nous produisons ci-après un croquis qui indique comment les débits moyens mensuels croissent en même temps qu'augmente la hauteur moyenne des eaux de pluie constatée au pluviomètre établi à Gamboa.

Nous donnons également un diagramme des niveaux atteints par les eaux entre Alhajuela et la mer, et sur lequel on rappelle les cotes attribuées aux eaux dans les réservoirs projetés à Bohio et à Alhajuela, comme le fera connaître la description des projets.

Nous terminerons ce résumé des indications qui concernent le Chagres, en faisant connaître la composition de ses eaux d'après les analyses faites à l'École des Mines de Paris.

Cinq échantillons pris à Alhajuela, à Juan Mina, à Gamboa, à Gorgona, à Bohio ont été soumis à l'analyse ; ils diffèrent peu entre eux et voici la composition moyenne de ces eaux :

| | |
|--|--------|
| Extrait à sec à 180°..... | 0.0884 |
| Silice..... | 0.0204 |
| Carbonate de calcium..... | 0.0253 |
| — de magnésium..... | 0.0122 |
| — de sodium et potassium.... | 0.0100 |
| Chlorure de sodium..... | 0.0070 |
| Sulfates alcalins..... | traces |
| Matières organiques (par calcination). | 0.0135 |
| Total..... | 0.0884 |

Ces résultats permettent de considérer les eaux du Chagres comme propres aux usages domestiques.

CHAPITRE IX

PROJET D'EXÉCUTION

PRÉCÉDENTS

Pour comprendre l'ensemble du problème de l'ouverture d'un canal interocéanique à Panama, il est nécessaire, avant de faire connaître les dispositions auxquelles s'est arrêtée la Compagnie nouvelle, d'indiquer les différents projets qui ont été successivement proposés pour l'exécution de cette voie navigable.

Tout d'abord, l'ancienne Compagnie avait poursuivi l'exécution d'un canal à niveau. Cette solution lui avait paru la meilleure, la plus satisfaisante, à tous les points de vue. Les mouvements de la marée, presque nuls du côté de l'Atlantique, 0^m30 au maximum, plus importants du côté du Pacifique puisqu'ils peuvent y atteindre 6 mètres, n'étaient pas un obstacle à la réalisation de ce projet. Un tracé fut adopté, partant de Colon, suivant la vallée du Chagres jusqu'à Gamboa, traversant la chaîne des Cordillères en passant par le col de la Culebra, puis de là, gagnant Panama par la vallée de Rio Grande, qui est encore aujourd'hui le tracé du projet définitif.

Mais il fut impossible, dans les délais dont on disposait, d'enlever le volume considérable des déblais de la tranchée centrale; de plus, le problème de l'écoulement des eaux du Chagres n'était pas complètement résolu. Ce fleuve, dont nous avons plus haut fait connaître le régime, constitue, dans l'hypothèse de l'établissement d'un canal à niveau, un danger pour la navigation qu'on ne pourrait conjurer qu'au moyen de digues latérales puissantes, s'opposant à l'irruption des eaux du Chagres dans le canal. Un barrage devait être construit à Gamboa pour régulariser, dans une certaine mesure, l'écoulement des crues

exceptionnelles. Mais c'eût été là un palladium insuffisant, et d'autre part, la construction d'un barrage de grande hauteur à Gamboa eût été d'une réussite douteuse.

Pour ces diverses raisons, et principalement par l'impossibilité d'achever à temps les déblais de la tranchée centrale, l'ancienne Compagnie a modifié son programme primitif et adopté un nouveau projet qui comportait l'établissement d'un bief de partage séparant les versants des deux mers, et relié à celles-ci par des écluses. Le plafond du bief de partage était placé à la cote 40 mètres au-dessus du niveau de la mer, et cinq écluses devaient être construites sur chaque versant ; quant à l'alimentation du bief supérieur, on comptait l'assurer par des machines élévatoires puisant l'eau dans un réservoir à établir à Gamboa, dans la vallée du Chagres.

Cette conception reçut à peine un commencement d'exécution ; la Commission d'études de 1890, rejetant avec raison le procédé d'alimentation par des machines, proposa un nouveau projet consistant à creuser jusqu'à la cote 25^m50 le plafond du bief supérieur, et à jeter directement dans ce bief les eaux du Chagres, dont le niveau serait relevé jusqu'à la hauteur du plan d'eau au moyen d'un barrage à construire à San Pablo, qui créerait une sorte de lac artificiel formant bief. Un second lac aurait été formé au-dessous du premier par la construction d'un barrage à Bohio. Quatre écluses devaient être construites de chaque côté de la ligne de faite : deux à Bohio et deux à San Pablo d'une part, et de l'autre, deux à Paraiso, une à Pedro-Miguel, et une à Miraflores.

L'exécution de ce programme exige la possibilité de la construction d'un barrage à grande hauteur à San Pablo, et la Commission de 1890 elle-même avait cru devoir formuler des réserves à ce sujet. Les études qui ont été faites depuis cette époque, ont montré que ces réserves étaient justifiées, et qu'on ne pourrait entreprendre, avec la certitude du succès, une construction aussi importante à San Pablo. On doit, toutefois, reconnaître que les principes qui ont servi de base à la rédaction du projet de 1890, sont rationnels, et qu'on aurait ainsi résolu très heureusement toutes les difficultés.

Dans la pensée de réduire autant que possible le volume des déblais à exécuter, la Compagnie nouvelle avait d'abord songé à relever le plafond du bief supérieur jusqu'à la cote 39 mètres et son plan d'eau jusqu'à la cote 48^m,50, le nombre des écluses sur chaque versant étant porté à cinq. L'importante question de l'alimentation du bief de partage était résolue en construisant dans le Haut Chagres, à Alhajuela, un réservoir important, et en amenant les

eaux de ce réservoir dans le canal au moyen de tuyaux de conduite à grand diamètre.

L'exécution de ce programme aurait exigé un temps plus considérable pour la construction des ouvrages d'art que pour l'achèvement de la tranchée de faite; il semble qu'on doive abaisser le plus possible le niveau du bief de partage, autant du moins qu'il n'en résultera pas une prolongation de la durée des travaux, de sorte qu'une des conditions qu'on doit chercher à réaliser dans le programme des travaux à projeter, est l'équivalence du temps nécessaire à exécuter, d'une part, les ouvrages d'art, de l'autre, les terrassements.

Nous pouvons, maintenant, préciser les données du problème : il faut en premier lieu, ouvrir à travers la chaîne des Cordillères un passage au futur canal et abaisser, autant que le permettra le temps dont on disposera, le plafond de cette ouverture; il faut ensuite assurer l'alimentation en eau du bief supérieur ainsi créé, de manière à suffire aux besoins des écluses et aux pertes par infiltrations, évaporation, etc.; on doit, tout en régularisant ses crues de manière à les rendre inoffensives, utiliser le Rio Chagres pour les besoins de cette alimentation; et enfin, d'après le niveau adopté pour le plan d'eau du bief supérieur, on construira le nombre d'écluses nécessaires pour relier ce bief aux deux Océans.

Nous allons indiquer comment le projet étudié satisfait à ces diverses obligations; mais avant d'entrer dans le détail de ses dispositions, nous tenons à signaler l'immuable persévérance qu'ont montrée les hommes qui, malgré l'échec retentissant de l'ancienne Compagnie, ont repris de la façon la plus complète l'étude approfondie de la question, et louer l'énergie qu'ils ont déployée depuis la constitution de la Compagnie nouvelle.

PROJET DE LA COMPAGNIE NOUVELLE

La Compagnie nouvelle a constitué, en vertu de l'art. 31 de ses statuts, un Comité technique qui, depuis sa formation, a donné son avis sur toutes les études qui ont été faites, et, dans un rapport du 16 novembre 1898, adopté à l'unanimité de ses membres, a défini le projet dont l'exécution lui paraît devoir être poursuivie. Ce rapport a été approuvé par le Conseil d'administration de la Compagnie nouvelle.

Le Comité technique est ainsi composé :

- MM. ROBAGLIA, Président, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite.
BOUVIER, Rapporteur, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite.
Le Général ABBOT, du Corps du Génie Militaire des Etats-Unis.
CASTEL, Inspecteur Général des Mines en retraite.
DAYMARD, Ingénieur en Chef de la Compagnie Transatlantique.
FARGUE, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite.
FTELEY, Ingénieur en Chef de l' " Aqueduct Commission " de la ville de New-York.
FULSCHER, Conseiller intime au Ministère des Travaux Publics de Prusse, ancien Directeur technique des travaux du canal de Kiel.
HERSENT, Ingénieur Civil.
HUNTER, Ingénieur en Chef de la Compagnie du canal de Manchester.
KOCH, Conseiller des Travaux Publics, Directeur de l'Académie technique de Darmstadt, ancien Membre technique de la Commission Impériale du canal de Kiel.
Jules MARTIN, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite.
SKALKOWSKI, Ancien Directeur du Département des Mines au Ministère de l'Agriculture et des Domaines de Russie.
SOSA, Ingénieur en Chef de l'Etat Colombien.

Le Comité a eu à déplorer la perte de M. Sosa comme nous l'avons dit plus haut et de M. Bouvier, ce dernier décédé le 8 septembre 1898.

Le projet présenté est le résultat des études faites depuis la constitution de la Compagnie nouvelle. Il comprend trois solutions différentes; nous allons en faire la description.

Tracé en plan.

Le tracé du canal est celui qui avait été adopté par l'ancienne Compagnie et que nous avons fait connaître; il est excellent, et on ne voit pas quelle modification pourrait lui être apportée; de plus, on utilise, en le conservant, les travaux considérables qui ont déjà été exécutés.

Le tracé comporte partout des courbes à très grands rayons; ces rayons ne

sont pas inférieurs à 3.000 mètres sauf sur des points exceptionnels où ils descendent à 2.500 mètres, mais sur lesquels on a prévu des surélargissements de nature à faciliter la circulation des plus grands navires.

Le canal, depuis son origine dans l'anse de Folk-River, sur l'Atlantique, jusqu'au point où il débouche dans la baie de Panama, à la Boca, sur le Pacifique, présente un développement de 69 kilomètres. Mais les grands fonds ne se rencontrent qu'au voisinage de l'île Naos, à 5.400 mètres de la Boca ; un chenal maritime prolonge, du côté du Pacifique, le tracé du Canal, ce qui en porte la longueur totale à 74^k400.

Profils en travers.

Les biefs maritimes sont prévus avec des largeurs au plafond de 30 ou de 34 mètres, suivant la nature des terrains et des talus dont l'inclinaison varie de 5/1 à 3/2. Dans la tranchée centrale, du point kilométrique 46,600 au point kilométrique 56,300, le profil-type comporte, pour la cunette mouillée, une largeur au plafond de 36 mètres, des talus inclinés à 1/2, et des banquettes de 3 mètres de largeur placées à 2^m50 au-dessous du plan d'eau minimum ; dans la partie supérieure, des redans de 5 mètres de largeur seront espacés verticalement de 10 mètres, et reliés par des talus inclinés à 2/5. Des bassins d'attente et de croisement pour les bateaux seront établis aux abords des écluses, et en divers points du canal.

Profil en long.

Le profil en long varie pour chacune des trois solutions qui ont été envisagées.

Dans la première, le lac à créer à Bohio se prolongerait jusqu'au versant pacifique ; le plafond du canal serait alors, depuis l'origine jusqu'au point kilométrique 24, à la cote — 9 ; du kilomètre 24 à la fin de la tranchée centrale, au kilomètre 57, le plafond serait à la cote 10 pour passer à la cote — 12 dans le bief pacifique ; le lac de Bohio formerait ainsi bief de partage et recevrait directement les eaux du Chagres qui l'alimenteraient sans le secours d'une

rigole spéciale : — deux écluses seulement du côté atlantique et trois du côté pacifique seraient nécessaires pour mettre ce bief en communication avec la mer.

La deuxième solution place le plafond du bief de partage à la cote 20^m75 : du côté atlantique, deux écluses construites à Obispo, point kilométrique 46,500, séparent ce bief du lac de Bohio où le plafond du chenal serait réglé à la cote 7 mètres. Deux nouvelles écluses au kilomètre 24 séparent ce lac du chenal maritime. Du côté pacifique, une première écluse limiterait le bief de partage à Paraiso, au kilomètre 56,700. Le bief placé au-dessous aurait son plafond à la cote 13,25. Une écluse double serait construite à Pedro-Miguel au point kilométrique 59,300. Le plafond du bief qui suit cette écluse serait à la cote 3,75. Une dernière écluse à Miraflores, point kilométrique 62,000, sépare le bief de Miraflores du bief maritime. Ce serait donc quatre écluses dont la construction serait nécessaire sur chacun des versants.

Dans la deuxième comme dans la troisième solution, l'alimentation du bief de partage serait assurée par une rigole spéciale à construire entre le réservoir du Haut Chagres et le canal. Mais pour cette troisième solution, le plafond de la tranchée centrale serait réglé à un niveau plus élevé que pour la deuxième et on adopterait pour ce plafond la cote 29^m50, ce qui comporterait 5 écluses sur chaque versant.

Ecluses.

Les dimensions prévues pour les écluses et qui répondent à tous les besoins que l'on peut envisager comportent une longueur utile de sas de 225 mètres et une largeur de 25 mètres. La profondeur au-dessous du plan d'eau le plus bas est de 9^m50 à l'aplomb des bajoyers et de 10 mètres sur l'axe. Dans l'avenir, les écluses devraient être à deux sas géminés, pour permettre un mouvement intense de circulation sans imposer de retards aux bateaux, et l'épaisseur du bajoyer intermédiaire entre les deux sas est suffisante pour que l'un d'eux puisse être mis complètement à sec, en cas de réparation. On se contenterait, au début, de terminer un seul des sas. Le remplissage et la vidange seront assurés par des conduites en fonte à grand diamètre, logées dans les radiers sur les deux rives et percées de tubulures verticales espacées de deux mètres en deux mètres de manière à répartir sur toute la surface du sas les

mouvements de l'eau, et à permettre d'effectuer les manœuvres avec rapidité et sécurité. Les détails de construction relatifs aux portes d'écluses, à la machinerie, sont réservés pour être étudiés au moment voulu.

Les maçonneries sont formées de béton avec mortier de ciment, d'une exécution plus facile et plus sûre dans l'Isthme que toute autre nature de maçonnerie ; certaines parties seront en pierres de taille qui seront expédiées d'Europe toutes taillées.

Ports de débouquements.

Les ports de Colon et de Panama sont fréquentés par des navires de tous tonnages, et pourront permettre, sans modifications, l'ouverture du nouveau canal, sauf à recevoir ultérieurement les améliorations qu'exigera le développement du trafic. Cependant on prévoit, dès maintenant, à l'origine du canal, l'établissement d'un garage de 1.000 mètres de longueur et de 150 mètres de largeur, à la suite de la baie de Folk-River, et, à l'autre extrémité, un wharf vient d'être construit à la Boca, par la Compagnie P. R. R. Le chenal entre les îles et le port de la Boca est creusé jusqu'à neuf mètres au-dessous de la mer moyenne : il sera approfondi de trois mètres au moment de l'achèvement du canal.

Terrassements généraux.

Nous donnons ci-après un tableau indicatif des déblais qui restent à effectuer dans chacun des biefs, dans l'hypothèse de l'exécution de la deuxième solution, celle pour laquelle le plafond du bief de partage est arasé à la cote 20^m75. Les cubes indiqués à ce tableau ont été calculés sur des profils levés avant que la Compagnie nouvelle n'ait commencé ses travaux, et par conséquent ne comprennent pas les terrassements exécutés par elle, et qui se continuent régulièrement ; ces déblais s'élevaient au 30 janvier 1899 à 3.000.000 de mètres cubes pour la tranchée d'Emperador et de Culebra, et dépassaient pour les dragages exécutés entre la Boca et les Iles Naos 2.000.000 de mètres cubes auxquels il faut ajouter 50.000 mètres cubes de dérochements.

Tableau indicatif du cube de déblais à exécuter par bief, le plafond du bief de partage étant à la cote 20^m 75.

| DESIGNATION DES BIEFS | CUBES DE DÉBLAIS. | | TOTAUX |
|------------------------------------|-------------------|---------------|---------------|
| | ORDINAIRES | DURS | |
| | mètres cubes. | mètres cubes. | mètres cubes. |
| Bief maritime de l'Atlantique..... | 5.870.000 | 538.000 | 6.408.000 |
| Bief de Bohio..... | 6.350.000 | 2.000.000 | 8.350.000 |
| Bief de partage..... | 6.250.000 | 17.600.000 | 23.850.000 |
| Bief de Paraiso..... | 759.600 | 693.400 | 1.453.000 |
| Bief de Pedro-Miguel..... | 617.600 | 450.800 | 1.108.400 |
| Bief maritime du Pacifique..... | 9.051.000 | 588.000 | 9.639.000 |
| Totaux..... | 28.898.200 | 21.870.200 | 50.808.400 |

Pour l'exécution de la première solution, plafond du bief de partage à la cote 10 mètres, le cube de déblai de la tranchée centrale serait porté de 24 millions de mètres cubes à 36 millions, soit une augmentation de 12 millions de mètres : au contraire, en plaçant le plafond de ce bief à la cote 29^m 50, ce cube serait de 15.600.000 mètres, ce qui correspond à une diminution de 8.400.000 mètres.

Barrages et déversoirs.

Les écluses ou échelles d'écluses comportent l'exécution de barrages destinés à compléter la fermeture des biefs. Ces ouvrages sont relativement peu importants, et nous nous bornerons à décrire les deux grandes digues de Bohio et d'Alhajueta qui constituent, en même temps que des organes essentiels du système adopté pour la construction du Canal, le mode de régularisation le meilleur du régime du Chagres.

Le bief de Bohio forme un vaste lac dans lequel seront retenus momentanément, jusqu'à concurrence de 150 millions de mètres cubes, l'excédent des crues du Chagres, et, de plus, une réserve correspondant à une tranche de un mètre de hauteur, faite au début de la saison sèche, pour parer aux pertes qui pourraient se produire. Le niveau de l'eau pourrait donc descendre, au minimum, à la cote 16 mètres et monter à la cote 20 mètres, son niveau normal serait à la cote 17 mètres.

La digue à établir sur le thalweg du Chagres, appuyée sur la rive gauche

contre la butte de Bohio et sur la rive droite contre la butte du Cimetière, présente une longueur en crête de 392 mètres. Elle serait arasée à la cote 23 mètres, par conséquent conserverait une revanche de 3 mètres au-dessus des plus hautes eaux. Le massif de corroi argileux formant le corps du barrage sera encastré, à 1^m50 au-dessous du niveau de la mer, dans une couche épaisse d'argile sableuse imperméable. Un puissant massif d'enrochements sera placé contre le talus aval de la digue, de manière à en prévenir tout arrachement pendant la construction.

Un déversoir, pouvant écouler, au moment des crues, un volume de 500 mètres cubes par seconde dans les dérivations ouvertes par l'ancienne Compagnie jusqu'à la mer, sera placé dans une dépression que présente la butte du Cimetière.

Un deuxième déversoir, pouvant débiter au moins 700 mètres cubes par seconde, sera très heureusement établi dans une dépression qui constitue le col du Rio Gigante; les eaux que débitera ce déversoir trouveront leur écoulement dans le marais de Peña Blanca, pour de là gagner la mer par le lit du Chagres, dans la partie de ce fleuve éloignée du canal.

Ces déversoirs seront en maçonnerie et munis de vannes étanches, telles que celles du système Stoney appliqué sur le canal de Manchester.

Le réservoir d'Alhajuela a pour objet d'emmagasiner les réserves d'eau destinées à l'alimentation du bief de partage et à la création des forces motrices nécessaires à son exploitation, et, d'autre part, de retenir sur les crues exceptionnelles, d'après les prévisions faites pour leur aménagement, un volume de cent millions de mètres cubes.

Le barrage serait construit dans un étranglement de la vallée du Chagres, à 15 kilomètres environ en amont du point où le fleuve rencontre le tracé du canal, P. K. 45.000. L'étiage est à la cote 28^m40. Le point de départ de la rigole alimentaire serait à la cote 58. La réserve alimentaire exigerait au-dessus de ce niveau, une tranche de 5 mètres, ce qui conduit à la cote 63 mètres; on a prévu de plus une nouvelle tranche de 4 mètres pour l'aménagement des crues, de sorte que le niveau le plus élevé du lac pourrait atteindre la cote 67 mètres, correspondant à une hauteur de 39 mètres pour la retenue.

La longueur de la digue en crête serait de 285 mètres. Elle serait arasée à la cote 69 mètres, avec une revanche de 2 mètres sur le niveau le plus élevé que puissent atteindre les eaux, et constituée par un massif de béton de ciment d'environ 150.000 mètres cubes, fondé sur le rocher, dont le niveau le plus bas

est à 9 mètres au-dessous de l'étiage, dans le thalweg, et qui affleure le sol sur la plus grande partie de l'emplacement que doit occuper le barrage.

Un déversoir serait établi sans difficulté dans la croupe rocheuse contre laquelle vient s'appuyer la digue sur la rive gauche du Chagres. Il pourrait écouler un volume d'eau de 700 mètres cubes à la seconde et serait muni d'un vannage.

Une galerie de dérivation, dans laquelle les eaux du fleuve pourront être rejetées pendant la période de construction serait ouverte sur la rive gauche.

Rigole d'alimentation.

Le bief de partage, dans la solution 2 et 3, est alimenté par une rigole qui y conduit les eaux du réservoir d'Alhajuela. Cette rigole se développe sur le versant des montagnes qui forment la rive gauche du bassin du Chagres. Elle prend l'eau à la cote 58 mètres, et son profil en travers est calculé de manière à ce qu'elle puisse débiter un volume de 25 mètres cubes à la seconde. Si ce débit était reconnu insuffisant, ce qui ne semble guère probable, il serait facile de l'augmenter en surélevant le plan d'eau de la rigole.

On doit distinguer, au point de vue de la configuration du terrain, le tracé de la rigole en trois parties.

La première partie, de l'origine au point 3^k,500, traverse un plateau découpé par plusieurs Rios encaissés et sinueux. Le tracé se tient sur le bord du plateau, du côté du Chagres, et franchit les ravins au moyen de barrages, établis sur la roche, qui forment autant de petits lacs qu'emprunte la rigole. Les reliefs trop accusés du plateau sont traversés par des souterrains dont la longueur totale est de 595 mètres.

La seconde partie, du kilomètre 3,500 au kilomètre 6,650, comprend les vallées du Chilibre et du Juan Mina, affluents du Chagres. Le terrain forme une vaste dépression, que la rigole franchit par deux siphons, l'un de 1,400 mètres de longueur, l'autre de 610 mètres de longueur, séparés par une partie à ciel ouvert de 1,140 mètres de longueur.

Les siphons sont constitués par trois tubes métalliques, de 2^m40 de diamètre chacun, qui fourniront un débit de 25 mètres cubes à la seconde. Les tubes sont posés, avec patins en fonte, sur des massifs en béton. Les travaux d'infrastructure sont projetés de manière à permettre ultérieurement, en cas de besoin, la pose d'un quatrième tube qui porterait à 34 mètres cubes par seconde le débit du siphon.

La troisième partie du tracé se développe à flanc de coteau sur le versant de la rive gauche du Chagres. Les thalwegs secondaires perpendiculaires au tracé sont franchis tantôt par des ponts bâches, tantôt, comme dans la première partie, en créant, au moyen de barrages, des lacs artificiels qui seront incorporés à la rigole. Quelques croupes d'un relief prononcé sont traversées au moyen de souterrains de faible longueur. A son extrémité, la rigole vient se buter sur un col dont l'altitude atteint la cote 75 mètres, qui sépare le Rio Gamboa d'une autre vallée. Ce col sera franchi par un souterrain de 430 mètres de longueur, le plus important du tracé.

Dans la solution n° 2, on pourrait abaisser un peu le niveau général de la rigole que nous venons d'indiquer, mais ce serait allonger le souterrain de Gamboa sans avantages sur le reste du parcours, de sorte que le tracé de la rigole alimentaire peut être considéré comme s'appliquant également à la solution n° 2 et à la solution n° 3.

Pour accéder facilement à tous les chantiers qu'exigera la construction de la rigole d'alimentation et du barrage d'Alhajuella, il sera construit un chemin de fer, relié à la ligne du Panama Rail Road, qui suivra à peu près le tracé de la rigole et aboutira au plateau situé à la cote 75 mètres qui domine l'emplacement du barrage d'Alhajuella. Ce chemin de fer établi économiquement, avec des courbes de 150 mètres de rayon, n'exigera qu'un mouvement de terres peu important; sa construction est indispensable pour le transport des matériaux et le service des chantiers.

Déviatiou du Panama Rail Road

Le chemin de fer qui met actuellement en communication Colon et Panama, ne peut, sur une partie de son parcours, être maintenu dans son emplacement actuel : il se trouve, en effet, dans la zone d'inondation que doit former le lac de Bohio, et d'autre part, il traverse le tracé même du canal. Il est nécessaire d'exécuter une rectification de la ligne, qui soit entièrement sur la rive gauche de la voie navigable et en dehors du terrain que les eaux du lac de Bohio doivent recouvrir. Cette rectification aurait son origine un peu avant le barrage de Bohio, au point kilométrique 23,000, rejoindrait la ligne actuelle à Miraflores au point kilométrique 63,000, et présenterait, une longueur totale d'environ 50 kilomètres.

Evaluation des dépenses.

Nous résumons l'évaluation des dépenses faite pour l'exécution du projet n° 2, dans lequel le plafond du bief de partage est supposé arasé à la cote 20^m75.

1° Terrassements généraux :

| | |
|--|---------------------------|
| Bief maritime de l'Atlantique..... | 20.568.000 fr. |
| Bief de Bohio..... | 33.225.000 |
| Bief de partage..... | 110.000.000 |
| Bief de Paraiso..... | 6.363.000 |
| Bief de Pedro-Miguel..... | 4.781.000 |
| Bief maritime du Pacifique..... | 30.308.000 |
| Total..... | <u>214.000.000</u> |
| Somme à valoir et revêtement de talus..... | 28.000.000 |
| Total général pour les terrassements..... | <u><u>242.000.000</u></u> |

Les prix principaux d'estimation sont : pour le mètre cube de dragage ou de déblais ordinaires, 3 fr. 50 et de 5 fr. 50 pour le mètre cube de déblais rocheux.

2° Ecluses :

| | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| Ecluse double de Bohio..... | 32.216.000 fr. |
| Ecluse double d'Obispo..... | 29.928.000 |
| Ecluse de Paraiso..... | 15.945.000 |
| Ecluse double de Pedro-Miguel..... | 28.851.000 |
| Ecluse de Miraflores..... | 15.799.000 |
| Total..... | <u>122.739.000 fr.</u> |
| Somme à valoir..... | 14.261.000 fr. |
| Total général pour les écluses..... | <u><u>137.000.000 fr.</u></u> |

3° Barrages et déversoirs :

| | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| Barrage de Bohio..... | 10.981.000 fr. |
| Barrage d'Obispo..... | 451.700 |
| Barrage de Paraiso..... | 1.348.700 |
| Barrage de Miraflores..... | 50.200 |
| Barrage d'Alhajuela..... | 12.210.700 |
| Total..... | <u>25.939.200 fr.</u> |
| Somme à valoir..... | 4.060.800 fr. |
| Total général pour les barrages..... | <u><u>30.000.000 fr.</u></u> |

bateau dans une écluse n'excéderait pas 45 minutes y compris l'entrée et la sortie, mais les opérations d'éclusage ne peuvent s'effectuer d'une manière continue pendant 24 heures : il y aura toujours en pratique des fausses manœuvres, des pertes de temps dues à des causes diverses et l'on peut estimer que, d'autre part, pour tenir compte de ce que les bateaux n'arriveront pas régulièrement et en égale quantité tous les jours et en toute saison, et pour ne pas leur imposer des délais d'attente trop longs, il est prudent de réduire le tonnage maximum qui pourrait être obtenu par un éclusage sans interruption.

Cette réduction serait largement évaluée à 50 0/0 ce qui permettrait de faire transiter par le canal avec un sas unique environ 10.000.000 de tonnes par an. Ces considérations établissent que des écluses à sas unique pourront, dans les premières années de l'ouverture du canal, satisfaire aux besoins de l'exploitation.

Choix de la solution.

Le Comité technique a été appelé à se prononcer sur le choix qu'il convenait de faire entre les trois solutions qui, comme nous l'avons indiqué, se différencient par le niveau assigné au plafond du bief de partage. Nous reproduisons la résolution votée à l'unanimité par le Comité dans sa séance du 8 septembre 1898.

« Le Comité technique a pris connaissance des nombreux projets étudiés par la Compagnie nouvelle, ainsi que des plans, profils, devis et, en général, de tous les documents dressés et présentés à l'appui de ces projets.

« Ayant procédé à l'examen de chacun d'eux, le Comité a tout d'abord éliminé diverses variantes, et n'a retenu, pour les comparer entre eux, que trois projets dans lesquels le plafond du bief de partage serait établi respectivement aux cotes 29^m50, 20^m75 et 10 mètres.

« Le Comité a reconnu que chacun de ces trois projets, considéré en lui-même, pourrait être pratiquement exécuté et donner satisfaction aux besoins de la navigation.

« Mais considérant que dans le projet à la cote 29^m50, le délai d'exécution des ouvrages d'art serait plus long que celui des terrassements;

« Considérant, d'autre part, que le projet à la cote 10 mètres, malgré les avantages qu'il offrirait au point de vue de l'exploitation, paraît, dans l'état

« présent des données expérimentales devoir entraîner un trop long délai d'exécution ; que notamment, dans ce projet, la durée d'exécution des terrassements de la grande tranchée, serait, suivant les prévisions actuelles, plus longue que celles des ouvrages d'art ;

« Considérant enfin, que dans le projet à la cote 20^m75, l'importante condition de l'achèvement simultané des terrassements et des ouvrages d'art serait remplie d'une manière satisfaisante ;

« Par ces motifs :

« Le Comité technique recommande à la Compagnie l'adoption du projet dans lequel le plafond du bief de partage serait établi à la cote 20^m75. »

Ce sont donc principalement les considérations de temps, considérations capitales dans une question de cette nature, qui ont motivé la décision prise par le Comité technique et adoptée par la Compagnie ; mais les termes mêmes de la résolution montrent que, s'il est possible de gagner du temps sur les prévisions, dans l'exécution de la tranchée centrale, il y aurait avantage à poursuivre l'ouverture du canal suivant les conditions du projet dans lequel le plafond du bief de partage doit être descendu jusqu'à la cote 10 mètres.

CHAPITRE X

Résumé et Conclusions.

Aux termes de l'article 75 des statuts de la Compagnie nouvelle, la Commission technique spéciale constituée en exécution de cet article doit se prononcer sur les travaux exécutés et les conséquences à en tirer pour les suites de l'entreprise.

Les travaux exécutés par la Compagnie nouvelle consistent principalement dans l'approfondissement de la tranchée centrale, approfondissement complété par des sondages de manière à donner une connaissance parfaite du terrain à enlever, et dans des études poursuivies depuis quatre ans avec méthode et aussi complètes que possible, études qui ont abouti à la rédaction du projet définitif.

Dans tous les projets étudiés, l'idée maîtresse, la pensée principale est la création, par un barrage à établir à Bohio, d'un lac artificiel de près de 6.000 hectares, sorte de mer intérieure dans laquelle, après avoir traversé le lac créé par le barrage d'Alhajucla où resterait emmagasinée une partie de ses crues, s'épanouirait le fleuve principal de l'Isthme, le Rio Chagres, et viendrait se répandre en se disséminant, sans dommages et sans gêne pour la navigation, le complément des crues quelquefois très importantes de ce cours d'eau.

Au point de vue technique, les éléments constitutifs de ces projets se résument tous en quatre catégories :

Construction d'écluses, de barrages de retenue dont les principaux sont à Alhajucla et à Bohio, exécution d'une immense tranchée à la traversée des Cordillères, enfin ouverture d'une rigole d'alimentation conduisant au bief de partage les eaux du réservoir d'Alhajucla.

Les écluses projetées ont 25 mètres de largeur et des chutes qui n'atteignent pas 10 mètres : l'écluse Poe du Sault Sainte-Marie présente une largeur de

30^m 50 et une chute de 6^m 40. A Cardiff, on a construit des portes ayant 18 mètres de hauteur et une largeur de 30^m 40. Les dimensions prévues pour les portes à exécuter à Panama ne sont donc pas excessives.

Les barrages de Bohio et d'Alhajuella n'ont pas des hauteurs exceptionnelles ; la hauteur de la retenue de Bohio serait au plus de 20 mètres ; néanmoins les mouvements séismiques pouvant être plus dangereux pour un ouvrage en terre tel que celui-là que pour un ouvrage en maçonnerie, il paraît utile d'augmenter le massif d'enrochement prévu à l'aval pour que, dans le cas où des fissures se produiraient, il puisse soutenir les terres qui forment la partie étanche du barrage. A Alhajuella, la hauteur du barrage pourrait, il est vrai, atteindre 39 mètres ; mais il s'agit là d'une digue en maçonnerie, de faible longueur, fondée sur une roche excellente et dans laquelle les pressions par centimètre carré ne dépasseront pas 6 kilogrammes et demi. Les maçonneries seront exécutées en béton de ciment, de manière à éviter l'emploi d'ouvriers spéciaux, difficiles à recruter. Un massif en béton de ciment, bien homogène, peut constituer une digue parfaitement résistante : cette maçonnerie est assez imperméable pour que les infiltrations soient peu sensibles et ne produisent pas de sous-pressions. Les dispositions prévues pour cet important ouvrage ne soulèvent pas d'objection.

Le projet de la rigole d'alimentation comprend des souterrains à ouvrir dans le rocher, des digues latérales à la traversée des vallées secondaires, deux siphons, deux ponts-bâches. Par leurs dimensions tous ces ouvrages sont d'une exécution relativement facile.

Enfin le travail le plus considérable du projet, celui qui seul constitue, on peut le dire, une nouveauté au point de vue de l'art de l'Ingénieur, c'est la tranchée centrale. Jamais la main de l'homme n'a exécuté une tranchée de dimensions comparables à celles que doit atteindre la coupure de la Culebra, dont la profondeur ira jusqu'à 80 ou 90 mètres. Mais on ne voit pas pour quelles raisons cette coupure ne serait pas réalisable, étant donné que les terrains sont stables. S'il n'en existe pas de semblables exécutées par l'homme, on doit reconnaître que la nature en offre de beaucoup plus profondes, que les rivières se sont ouvertes dans les massifs montagneux pour le passage de leurs eaux. Des gorges de trois ou quatre cents mètres de profondeur ne sont pas rares, et avec des talus beaucoup plus raides que ceux qui seront donnés pour le passage du canal.

C'est donc seulement une question de quantités, de dépenses ; au point

de vue de la sécurité, la tranchée de la Culebra doit être admise, quelle que soit la profondeur qu'on sera conduit à lui donner.

Mais comme il a été établi que les roches dans lesquelles elle doit être ouverte peuvent se ramollir au contact de l'eau, un revêtement maçonné des talus de cette tranchée à la ligne d'eau, ou mieux sur tout le talus de la section mouillée, semble indiqué et suffira à éviter toute désagrégation.

Le Comité technique a retenu, parmi tous les projets étudiés, trois solutions que l'on peut classer d'après le niveau à donner au plafond du bief de partage.

Dans la première, le plafond du bief de partage serait à la cote 10 mètres au-dessus du niveau moyen de la mer, et ce bief ne serait autre que le lac de Bohio alimenté directement par le Chagres.

La deuxième prévoit, au-dessus du lac de Bohio, un bief de partage dont le plafond serait à la cote 20^m75 et dont l'alimentation serait assurée par une rigole à construire entre le réservoir d'Alhajucla et le canal.

Enfin la troisième, projetée suivant les mêmes principes que la précédente, prévoit une élévation plus grande du plafond du bief de partage, qui serait établi à la cote 29^m50.

Le Comité a considéré ces trois solutions comme réalisables et répondant également à tous les besoins de l'exploitation; les dépenses ont été évaluées à 531, 512, et 490 millions. Ces différences sont relativement faibles en raison du but à atteindre, et c'est par d'autres considérations qu'il a porté ses préférences sur la deuxième solution.

Le temps nécessaire à la construction des ouvrages d'art, et particulièrement de ceux qui constituent la retenue de Bohio, d'après un plan de campagne prévoyant ce qu'il sera possible d'exécuter chaque année, serait, au total, de dix ans; pendant le même temps, on a estimé qu'il serait possible d'abaisser le plafond du canal dans la tranchée centrale jusqu'à la cote 20^m75; dès lors, il était rationnel de profiter de tout le délai qu'exige l'exécution de ces ouvrages pour diminuer l'élévation du bief de partage et en même temps le nombre des écluses.

On doit remarquer, à ce sujet, que le point de vue auquel on s'est placé pour évaluer la durée probable de l'exécution des travaux s'est modifié par une étude plus approfondie des projets; on a pris tout d'abord, pour la mesure de cette durée d'exécution, le temps nécessaire à l'ouverture de la tranchée centrale, et c'est maintenant celui qu'exige l'exécution des travaux d'art qui est considéré comme devant suffire à l'exécution de l'ensemble des travaux.

Le projet n° 2 qui est adopté donne lieu à l'exécution d'environ 24.700.000 mètres cubes de déblais pour toute la tranchée centrale, dont 11.200.000 pour la Culebra. On a estimé qu'on effectuerait en moyenne 1.400.000 mètres cubes de déblais par an pendant les huit années consacrées aux terrassements proprement dits à la traversée de la Culebra et 3.000.000 mètres environ sur l'ensemble de la tranchée de faite.

Les cubes de déblais dont l'extraction serait nécessaire pour l'abaissement à la cote 10 mètres du plafond du bief de partage seraient d'environ 36.000.000 mètres pour la Culebra et Emperador réunis, soit à exécuter par an 2.000.000 mètres cubes à la Culebra et 4.500.000 mètres cubes aux deux tranchées. Ce projet offrirait une solution plus simple ; elle aurait l'avantage de supprimer les travaux de la rigole d'alimentation qui exigent la création de nouveaux chantiers sur un parcours d'environ 15 kilomètres et dont l'entretien sera en définitive une charge pour l'exploitation ; mais sur les bases admises, la durée d'exécution serait d'environ 14 ans.

Le Comité technique n'a pas cru prudent de prévoir l'exécution chaque année d'un volume de déblais trop considérable et d'autre part le délai de dix ans n'a pas semblé devoir être dépassé. C'est par ces motifs qu'il a mis en première ligne le projet n° 2.

La Commission a dû rechercher les objections qui peuvent être opposées aux dispositions du projet définitif adopté par la Compagnie et les difficultés de tous ordres que pourrait présenter son exécution.

Ces objections et ces difficultés, en se restreignant aux côtés techniques de la question, rentrent toutes dans une des catégories ci-après :

1° Insuffisance des évaluations en argent et en temps ;

2° Défaut de stabilité des terrains où doivent être exécutés les tranchées et les ouvrages d'art ;

3° Inondations du Chagres ;

4° Insalubrité du climat ;

5° Recrutement des ouvriers nécessaires à l'exécution des travaux :

1° *Insuffisance des évaluations.* — On se trouve en présence d'un projet étudié dans tous ses détails ; les dépenses y ont été largement évaluées d'après l'expérience des quatre dernières années et d'après les résultats obtenus pour des travaux similaires ; sans doute le cours du change peut exercer une certaine

influence sur le prix de la main-d'œuvre dans l'Isthme, où les ouvriers sont payés en piastres d'argent dont le prix peut varier ; mais ces variations ne sont pas considérables et il y a assez de marge dans les évaluations pour que le chiffre prévu ne soit pas dépassé ; nous devons même, à ce sujet, faire remarquer que les cubes de déblais ont été calculés sans déductions des terrassements exécutés par la Compagnie nouvelle ainsi que des dragages et des dérochements entre la Boca et les Iles Naos et que de ce chef, il y a une sorte d'augmentation des sommes portées pour dépenses imprévues.

Nous considérons les évaluations en temps et en argent faites par la Compagnie comme devant suffire à l'achèvement des travaux.

2° Défaut de stabilité des terrains. — Les couches profondes des Cordillères sont constituées par des terrains absolument stables : l'impression de tous les Ingénieurs qui, comme nous, ont pu visiter les tranchées nouvellement ouvertes est qu'aucune crainte ne peut subsister à cet égard ; aucun plan de glissement ne peut se former dans les tranchées d'Emperador et de la Culebra ; au kilom. 56 seulement, à Cucaracha, c'est-à-dire à la sortie de la grande tranchée, côté du Pacifique, on traverse, sur une faible longueur, des couches assez puissantes d'argile rouge légèrement inclinées vers la tranchée ; mais le fond des déblais est déjà au-dessous de l'argile, et il sera facile d'éviter tout mouvement de terrain par des travaux relativement peu importants.

L'étude géologique qui est jointe au présent rapport confirme pleinement l'impression de sécurité qu'on éprouve à la vue des tranchées ouvertes et des sondages descendus aussi bas que pourront jamais l'être les terrassements et démontre que dans l'Isthme, les tremblements de terre sont peu à craindre.

On peut donc affirmer que, tout exceptionnelles que soient les dimensions données à la tranchée qu'il est nécessaire d'ouvrir dans les Cordillères pour le passage du canal de Panama, ce travail présentera dans l'avenir toutes garanties de stabilité et de sécurité.

Les biefs maritimes seront mis à la largeur et à la profondeur prévues par des dragages d'une exécution facile. Les rivières coulant le plus souvent entre des berges rocheuses transportent peu d'alluvions et leurs apports seront sans importance.

Les fondations des écluses sont établies sur des roches d'une solidité absolue. Il en est de même du barrage d'Alhajuela. Quant à la digue de Bohio, elle repose sur une couche compacte d'argile sableuse de formation ancienne

dont l'imperméabilité et la résistance suffiront aux efforts qui lui sont demandés, efforts restreints en raison des grandes dimensions données à cette digue.

3° *Inondations du Chagres.* — Les réservoirs d'Alhajuela et de Bohio sont disposés de manière à emmagasiner les plus fortes crues du Chagres ou du moins le volume d'eau en excédent sur ce que devront débiter les émissaires sans surélever le niveau de ces réservoirs. Le débit de 3.100 mètres cubes par seconde, qui a servi de base au calcul du volume d'eau à conserver est, selon nous, non seulement un maximum, mais encore un chiffre qui n'a jamais dû être atteint. On doit donc considérer la question comme complètement résolue par les dispositions projetées ; les prévisions à ce sujet seraient-elles, par impossible, dépassées, que la sécurité du canal n'en serait pas menacée ; il n'y aurait pas grand inconvénient à augmenter le débit des émissaires et, au besoin, à faire écouler un certain volume d'eau par la voie du canal lui-même ; mais c'est là, nous le répétons, une éventualité absolument improbable.

4° *Insalubrité du climat.* — On considère généralement l'Isthme de Panama comme absolument insalubre, presque inhabitable pour les Européens. Dans le chapitre sur la Climatologie, les faits ont été ramenés à leur véritable proportion : sans doute, sous l'ancienne Compagnie, la morbidité et la mortalité ont été parfois considérables. Mais des installations ont été faites sur tout le parcours du canal par cette Compagnie elle-même, qui ont donné des conditions d'existence plus saines : d'autre part, les terrassements ne s'exécutent plus à fleur de sol, mais dans des couches profondes qui ne contiennent pas de matières organiques en décomposition, et les accidents infectieux sont devenus rares. Les Européens peuvent exercer des fonctions de surveillance et de direction, et les Noirs exécutent sans danger les travaux de la nature de ceux qui font l'objet des projets présentés. L'expérience a prouvé que les Noirs des Antilles sont les plus laborieux et les plus résistants au climat de l'Isthme, et que l'insalubrité de cette région n'est pas telle qu'on ne puisse achever l'œuvre entreprise.

5° *Recrutement des ouvriers.* — Sera-t-il possible de recruter le nombre d'ouvriers, dans les conditions prévues, jugé nécessaire à l'exécution des travaux ? On en compte en ce moment 3.000 environ sur les chantiers. Le nombre devrait en être porté à 5.000 la première année, atteindre 16.000 au moment de la plus grande activité des travaux, et être en moyenne de 12.000 pendant la période de dix ans assignée à leur complète exécution.

La Commission américaine chargée, en 1895, de procéder à une étude de canal maritime par le Nicaragua estimait que 15.000 à 20.000 ouvriers jamaïcains pourraient être amenés sur les chantiers sous contrat.

Il n'est donc pas téméraire de penser que l'on pourra réunir à Panama 12.000 de ces ouvriers. La Compagnie ancienne avait importé dans l'Isthme un nombre d'ouvriers bien supérieur à 12.000; les renseignements qui nous ont été fournis confirment la possibilité de les embaucher, mais c'est à la condition qu'aucun obstacle ne sera apporté au recrutement des hommes par le gouvernement de leur pays, et que, d'autre part, l'exécution d'un canal maritime par le Nicaragua ne sera pas poursuivie en même temps que celle du canal de Panama.

En résumé, les études du projet d'exécution du canal de Panama ont été poursuivies pratiquement et scientifiquement et d'après les méthodes les plus rationnelles.

Les bases sur lesquelles il repose ont été établies par l'expérience directe, par des observations précises des faits, que l'ancienne Compagnie avait commencées et que la Compagnie nouvelle a complétées et rectifiées avec le plus grand soin. L'exactitude de ces bases est donc certaine.

Les trois solutions envisagées donnent également satisfaction à tous les besoins de la navigation et sont réalisables, au point de vue technique, dans les conditions de temps et de dépenses qui y sont portées, et avec les moyens d'exécution qui ont été employés jusqu'à présent dans l'Isthme de Panama. Il y a les plus sérieuses raisons de croire que ces moyens pourront être sensiblement améliorés au moment de la mise en œuvre, par l'adjonction d'un outillage plus perfectionné et par des dispositions nouvelles dans l'organisation des chantiers pour travailler en grand.

En conséquence la Commission est d'avis que le projet établi est exécutable pour les sommes et dans les délais indiqués, et que la Compagnie nouvelle a fait la preuve que, par des travaux qui exigeraient à eux seuls une dépense de cinq cents millions environ, et une durée de dix ans, il est possible d'ouvrir à la grande navigation le canal de Panama, de supprimer l'obstacle qu'apporte l'Isthme Colombien aux relations internationales, et ainsi d'achever une œuvre grandiose, qui intéresse toutes les nations du globe et est la plus considérable de celles qu'ait jamais enfantées le génie humain.

L'ère des découvertes géographiques touche à sa fin; les explorations

faites uniquement dans le but de compléter la connaissance de la Terre n'auront bientôt plus de raisons. Mais à la période scientifique succède la période économique et commerciale ; la mise en valeur des pays nouveaux est poursuivie avec une activité toujours croissante par tous les peuples de l'ancien continent, auxquels viennent se joindre ceux du continent américain. La nécessité de multiplier les échanges, et d'écouler les produits d'une industrie qui dépasse les besoins, imprime à cette expansion une impulsion qui transforme sans cesse les conditions du commerce.

L'ouverture d'une nouvelle voie maritime reliant l'Océan Atlantique à l'Océan Pacifique vient à son heure ; les services qu'on en attend obligeront à triompher des difficultés que peut présenter son achèvement.

Paris, le 28 février 1899.

*Le Président de la Commission,
Rapporteur.*

Les Membres de la Commission,

Signé : Henry L. ABBOT.
J. BARBA.
M. BERTRAND.
P. ZÜRCHER.

Signé : P. ETIENNE.

Annexe I

ÉTUDE GÉOLOGIQUE

SUR

L'ISTHME DE PANAMA

Par MM. **Marcel BERTRAND**, *Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Mines,*
Professeur de Géologie à l'École Nationale Supérieure des Mines,

et **Philippe ZURCHER**, *Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.*

Étude géologique sur l'Isthme de Panama.

COUPE GÉOLOGIQUE DE L'ISTHME

Travaux antérieurs. — La véritable base de nos connaissances sur l'âge des couches de Panama se trouve dans les deux notes publiées par M. Douvillé (Mars 1891 et Décembre 1898). La première de ces notes (1) était fondée sur l'examen d'une série d'échantillons fossilifères recueillis par M. Canelle, ancien ingénieur de la Compagnie du canal. La seconde, dont un résumé seulement a déjà paru (2), a eu pour point de départ l'étude des fossiles rapportés par M. Zürcher.

Nous avons pu aussi utiliser un travail important de M. Hill (3), paru en 1898 et rendant compte d'une exploration faite dans l'Isthme et à Costa-Rica en 1895. Les fossiles de M. Hill ont été déterminés par M. Dall, qui attribue aux terrains de l'Isthme un âge un peu plus ancien que ne fait M. Douvillé; la divergence paraît surtout fondée sur certains malentendus dans les assimilations avec les faunes européennes. Au point de vue stratigraphique, M. Hill n'a eu connaissance que d'une très faible partie des données fournies par les sondages du canal; ces données nous ont amenés à modifier sensiblement les conclusions de M. Hill sur l'âge des roches éruptives de l'Isthme.

Nous devons citer encore le mémoire de M. Wagner (4), qui renferme peu de conclusions utilisables sur l'âge des terrains ou des roches, mais qui, au point de vue topographique et au point de vue de l'allure des couches, fournit des données précieuses sur toute la région voisine; Wagner est le seul géologue dont les explorations se soient étendues assez loin de l'axe du canal.

Enfin, nous avons mis à profit le mémoire de M. Boutan (5), surtout important pour l'étude des roches éruptives, et la description géologique de la Commission d'études de 1884. Tous ces documents ont pu être reliés entre eux et complétés par l'étude comparative des puits et des sondages faits par l'ancienne et la nouvelle Compagnie. Pour les anciens sondages, il est vrai, nous n'avons pas eu en main les échantillons recueillis;

(1) C. R. Ac. des sciences, 2 mars 1891.

(2) C. R. sommaire des séances de la Soc. Géol. de France, n° 18, 1898 (Séance du 19 décembre 1898).

(3) Robert T. Hill. The geol. history of the Isthmus of Panama and portions of Costa-Rica, *Bull. of the Museum of comparative geology, at Harvard College*, vol. 28, n° 5, juin 1898.

(4) M. Wagner, physisch, geogr. Skizze des Isthmus von Panama, *Pet. Mitth., Ergänzungsheft* n° 1, 1861.

(5) E. Boutan, Constitution géol. de l'Isthme de Panama, *Ann. des Mines*, juillet 1880.

mais nous nous sommes convaincus que les critiques faites à l'ancien profil géologique (1), dressé au moment de la cessation des travaux de l'ancienne Compagnie, étaient très exagérées, et que les désignations, quoique souvent peu conformes aux dénominations usitées, en étaient parfaitement comparables entre elles, et par conséquent utilisables avec profit. D'ailleurs, les puits nombreux entrepris par la nouvelle Compagnie sur toute la longueur de la grande tranchée centrale, puits dont les échantillons ont été vus sur place par M. Zürcher et étudiés par nous à Paris, suffisent, croyons-nous, à assurer une grande certitude à nos principales conclusions stratigraphiques.

Les études microscopiques ont été faites à l'École des Mines, par M. Termier, professeur de minéralogie, pour les roches ; par M. Cayeux, préparateur de géologie, pour les terrains de la Culebra. Les fossiles, comme nous l'avons dit, ont été déterminés par M. Douvillé.

Structure d'ensemble. Roche de Gamboa. — Les terrains les plus anciens ont été partout rencontrés dans la partie centrale de l'Isthme, où leur affleurement forme un large plateau ondulé, faiblement incliné dans son ensemble vers le côté atlantique, et plongeant assez rapidement à ses deux extrémités sous des terrains sédimentaires plus récents ; l'allure générale est donc celle d'une voûte anticlinale très surbaissée.

La partie centrale est formée par une roche volcanique (roche de Gamboa), qui se présente presque partout à l'état de brèches, dont le ciment est franchement éruptif (2), et souvent de nature tout à fait analogue à celle des noyaux englobés. De véritables coulées alternent avec les brèches. D'après M. Hill (p. 190), il y aurait là deux formations distinctes et à Matachin on verrait les brèches reposer en discordance sur la roche massive. De pareilles discordances sont à la fois bien difficiles à constater et bien peu significatives ; tout nous a semblé au contraire témoigner d'une intime liaison des coulées et des brèches.

L'âge probable de ces roches peut se déduire des considérations suivantes : d'une part, sur le versant Sud-Ouest, du côté d'Obispo, nous n'avons pu saisir de démarcation nette entre les brèches supérieures, mêlées à la roche éruptive, et celles qui font partie de la série aquitaniennne de la Culebra ; d'autre part, des coulées andésitiques intercalées dans cette série aquitaniennne sont identiques à certains éléments de la roche de Gamboa ; enfin, une donnée plus précise est fournie par les Nummulites et les Orbitoïdes que M. Douvillé a reconnus et signalés auprès de Bohio.

Les affleurements de Bohio ne sont pas, il est vrai, en continuité avec l'affleurement principal de la roche de Gamboa, qui, le long de la plaine de Tavernilla, est recouverte par des tufs trachytiques. Ils ont de plus en partie, l'apparence de conglomerats remaniés par les eaux ; ainsi, dans les rochers du bord du Chagres, une partie des fragments empâtés, roulés ou anguleux, semblent des roches d'aspect très spécial et d'origine étrangère. Il est pourtant à remarquer que l'examen microscopique atténue les diffé-

(1) V. le rapport de la Commission d'études de 1884, rapport géologique, p. 15, 17 et 18.

(2) Boutan, *loc. cit.*, p. 13 et 17. — Fouqué, Roche de Gamboa, C. R. Ac. des Sciences, 5 avr. 1886.

rences et paraît montrer que ce sont des roches de même composition, mais consolidées à une plus grande profondeur et arrachées à une cheminée voisine. En tout cas, les brèches de la carrière de Bohio, anciennement exploitée pour les travaux du chemin de fer, ont un ciment moins décomposé, qui permet de constater leur nature franchement éruptive ; c'est, dit M. Boutan, une véritable boue volcanique solidifiée.

L'association des brèches de Bohio au système de Gamboa nous semble donc incontestable, et, d'un autre côté, c'est certainement sous ces brèches que le sondage du kil. 24,360 a trouvé la couche à Nummulites. Ce sont des Nummulites très petites, de type oligocène, et elles sont associées à des Orbitoïdes, qui paraissent les mêmes que ceux des calcaires aquitaniens de Peña blanca. Il y a donc là une confirmation du passage insensible signalé sur l'autre versant de l'anticlinal. La roche de Gamboa est certainement oligocène, et probablement aquitanienne. Sur la coupe (pl. 3 du rapport), pour mieux accentuer la distinction avec les séries supérieures, on lui a donné une teinte spéciale, en l'attribuant *pro parte* au Tongrien.

Ce qu'il importe de bien spécifier, c'est que, tongrienne ou aquitanienne, la roche de Gamboa représente la formation la plus ancienne de l'Isthme. Wagner (1) a parlé de grès permien sur la côte pacifique, mais ce ne sont que des tufs et brèches trachytiques rougies par décomposition ; M. Hill (2) est tenté d'assigner à ces mêmes tufs un âge crétacé. Or nous verrons qu'ils sont nettement superposés à la roche de Gamboa, et même à des calcaires fossilifères miocènes.

Versant atlantique. — Si, prenant la brèche et les couches à Nummulites associées pour point de départ, on se dirige vers Colon, sur l'Atlantique, on rencontre une série de couches marines, d'âge de plus en plus récent jusqu'à la côte.

Ce sont d'abord des argiles glauconieuses (3), riches en Foraminifères, et remplies de débris de la roche éruptive voisine. M. Hill dit que, près de Peña negra, ces argiles s'appuient sur la brèche *en discordance*. Il semble probable, d'après ce qui précède, que cette discordance est locale, et due à un changement du régime des eaux plutôt qu'à des mouvements du sol. M. Dall détermine les fossiles de ces argiles comme oligocènes.

Ces couches, dont nous ne possédons pas de fossiles, n'ont d'ailleurs qu'un faible développement. Elle sont presque immédiatement surmontées par les calcaires à Orbitoïdes de Peña blanca. « Ces Orbitoïdes, dit M. Douvillé (4), appartiennent au genre *Lepidocyclina*, Gumbel : or les espèces connues de ce genre appartiennent toutes à l'Oligocène : *O. Mantelli*, de l'Alabama et du Tongrien de Malte, *O. dilatata* du Tongrien du Piémont, *O. burdigalensis* de l'Aquitainien de Mérignac, enfin diverses formes (*O. elephantina*) découvertes par M. Munier-Chalmas dans l'Aquitainien du Vicentin ».

(1) Wagner, *loc. cit.*, p. 6 et 16.

(2) Hill, *loc. cit.*, p. 202.

(3) *id.*, p. 178.

(4) C. R. sommaire Soc. Géol., 1898, p. 428.

Les Orbitoïdes de Peña blanca sont accompagnées de Nullipores et de grandes Hétérotégines plates.

Plus loin, auprès des kil. 20, 15 et 13,5, M. Hill signale, sous le nom de couches de Vamos-Vamos, des couches de couleur foncée, riches en débris volcaniques, et contenant de grandes concrétions calcaires, dans lesquelles se trouvent les fossiles. Les couches sont souvent faillées ou légèrement plissées; les pendages visibles sont toujours vers l'Atlantique.

M. Dall a déterminé les fossiles de ces couches comme éocènes (Claiborne); nos échantillons ne renferment rien de déterminable; mais, comme le dit M. Hill, la superposition aux couches à Orbitoïdes est incontestable, et la succession serait de plus très semblable à celle de la Jamaïque (1). Nous avons rangé cette série dans l'Aquitaniien, en la réunissant provisoirement aux calcaires de Peña blanca.

Près de Gatun (kil. 10), des bancs plus gréseux contiennent, avec des empreintes de feuilles, la *Turritella tornata*. Cette forme, très spéciale, est une forme du Miocène des Antilles. Elle se retrouve dans l'Isthme en plusieurs points, associée, comme nous le verrons, au *Pecten subpleuronectes*, à des Clypéastres, c'est-à-dire à une faune franchement miocène. Au-dessus viennent des marnes, tantôt glauconieuses, tantôt d'apparence tufacée, moins riches en débris volcaniques, mais contenant des débris de feldspath et spécialement d'orthose. Elles semblent composer du haut en bas les collines voisines (Mindi hills, Sierra Quebrancha); la faune, très riche et très bien conservée, est celle du Miocène des Antilles; les couches, qui sont supérieures à celles de Gatun, doivent appartenir comme elles au Miocène inférieur (2).

Ainsi, sur le versant atlantique, formant le flanc Nord-Est de l'anticlinal central, nous trouvons une série franchement marine, contenant des débris de roches éruptives plus anciennes, mais sans intercalation de coulées contemporaines. Cette série, parfaitement continue, va de l'Aquitaniien au Miocène inférieur; les couches sont en général inclinées vers la côte atlantique, mais deviennent horizontales en s'approchant de cette côte.

Versant Sud-Ouest. Tranchée de la Culebra. — Si, maintenant, en réservant l'étude des affleurements intermédiaires, nous passons de l'autre côté de la voûte centrale, nous rencontrons une série à peu près symétrique de la précédente, mais qui en diffère par quelques intercalations saumâtres et par la présence de nombreuses roches éruptives.

La base de cette nouvelle série est formée, soit par des brèches remaniées, que les données dont nous disposons ne nous ont pas permis de séparer avec certitude de la brèche éruptive, soit par des schistes bitumineux, riches en débris volcaniques. Une première apparition de ces derniers a lieu près du kil. 43,700, un peu avant Malachin, dans

(1) Hill, *loc. cit.*, p. 207.

(2) Une note manuscrite de M. Canelle dit qu'un sondage a été creusé à Monkey Hill à la recherche d'eau potable, et qu'il a été arrêté à 110 m. de profondeur, sans être sorti des mêmes terrains. Il est probable qu'on a traversé les couches de Gatun et une partie au moins des argiles de Vamos-Vamos, sans faire de distinction entre ces différents niveaux, qui sont également formés de grès argileux.

une dépression de la roche de Gamboa. Un second affleurement, au kil. 48,600, après las Cascadas, est très mince et compris entre des brèches et des calcaires fossilifères, dont nous reparlerons plus loin ; enfin, c'est seulement après Emperador, au kil. 51,500, que la roche de Gamboa plonge définitivement en profondeur et laisse apparaître un système, puissant d'au moins 60 mètres, de schistes et grès bitumineux (1) ; c'est celui où doit être creusée la tranchée de la Culebra. Il y a de nombreuses empreintes de plantes ; il y a par places des débris de coquilles à test mince et des Foraminifères, parmi lesquels M. Cayeux a reconnu des coupes de Globigérines et de Textulaires ; mais, au point de vue de l'âge, la seule donnée certaine, c'est qu'au kil. 49, les schistes sont surmontés par des calcaires grossiers, formant par places une véritable lumachelle à *Ostrea*, *Pecten* et *Cardium*, et contenant le *Pecten subpleuronectes* ; ces calcaires sont miocènes (burdigaliens) et équivalent aux couches de Gatun. Il est donc naturel de voir dans les schistes un équivalent des couches de Vamos-Vamos, c'est-à-dire de l'Aquitaniien. En divers autres points, des couches à Huîtres reparaissent au haut de la tranchée et renferment des Orbitoïdes roulés (kil. 52,500, 53,000) ; aux kil. 53,680 et 53,870, il y a de plus des Orbitolites.

Entre les calcaires miocènes et les couches sous-jacentes, il n'y a pas de ligne nette de démarcation ; les grès et schistes bitumineux passent à la mollasse calcarifère et aux lumachelles supérieures ; le faciès saumâtre ou côtier, dont témoignent les traces ligniteuses et les empreintes végétales des schistes, se retrouve au-dessus des calcaires, et donne naissance (kil. 49) à une véritable couche de lignites. Une couche semblable, peut-être la même, reparaît près du faite entre les kil. 54,500 et 55,500 ; elle contient là des Mélanies (?) et une petite Congérie ; mais les calcaires fossilifères du kil. 49 font défaut. M. Cayeux a seulement reconnu un Foraminifère dans un banc inférieur à la couche de lignites.

Ces faits peuvent se résumer ainsi : du côté du versant pacifique, la roche de Gamboa supporte un système qui occupe la place des couches de Vamos-Vamos, mais n'a de commun avec elles que la richesse en éléments volcaniques ; ce système, composé de schistes et de grès bitumineux, a une apparence plus côtière, accentuée par l'abondance des plantes terrestres et est même en partie saumâtre, comme le montre la présence d'une Congérie. Il croît d'épaisseur en s'éloignant de l'anticlinal central, et est surmonté par des calcaires miocènes, où s'intercale encore une couche de lignites.

Il n'y aurait pas, dans ce qui précède, de raisons suffisantes pour classer dans l'Aquitaniien le système de la Culebra ; ce pourrait être un faciès local du Miocène inférieur. Mais l'affleurement des calcaires anciennement exploités pour four à chaux près de la station d'Emperador rend cette dernière interprétation peu vraisemblable.

Ces calcaires ont été visités par M. Hill (2). Il les indique comme situés à 3 kil.

(1) Dans le puits du kil. 53,870, ces couches ont donné lieu à des dégagements assez importants de carbures d'hydrogène. Nous citons le rapport envoyé à ce sujet : « Dans le puits du kil. 53,870, arrivé à la cote 30,52, il s'est dégagé, aux derniers jours de mai, des gaz inflammables qui ont donné lieu à plusieurs explosions sans accident. En descendant dans ce puits une lampe allumée et suspendue à la corde du treuil, dès que la lampe avait dépassé la moitié du puits, le gaz s'enflammait et produisait une violente explosion. »

(2) Hill, *loc. cit.*, p. 193.

environ au Nord-Ouest du col de la Culebra, près de la station d'Emperador, et formant deux petits pointements près d'un ravin, au milieu des argiles rouges superficielles. A une vingtaine de mètres plus bas se montre la roche éruptive, et à 100 mètres au Nord dans la tranchée du chemin de fer, on trouve les « argiles litées » du système de la Culebra.

M. Bagg, qui a examiné une coupe de ce calcaire, y a trouvé des Nummulites, un Orbitoïde et d'autres Foraminifères (*Cristellaria*, *Rotalia*, *Nodosaria*). Ce sont les Nummulites qui prédominent. Cette association des Nummulites et des Orbitoïdes rappelle la roche de Bohio, et il est bien probable qu'on a là affaire à un calcaire aquitainien; en tout cas ce n'est plus du Miocène. M. Hill dit qu'on ne peut voir les relations stratigraphiques du calcaire avec les formations voisines, mais son impression est qu'il s'agit d'un banc lenticulaire de calcaires, compris dans le système de la Culebra. Cette opinion est confirmée par les résultats du sondage Richier (kil. 53) de l'ancienne Compagnie; ce sondage, situé juste en face, à 500 mètres environ, de l'affleurement précédent, a rencontré un banc de calcaire compact très dur, épais de 5 mètres seulement, intercalé au milieu des schistes et grès bitumineux, et que ne signalent pas les sondages voisins. Il est bien probable que c'est le même calcaire, dont la position serait ainsi déterminée sans ambiguïté et entraînerait l'âge aquitainien de tout le système de la Culebra.

Il faut remarquer qu'il existe encore un affleurement calcaire dans la tranchée du chemin de fer, à la station même d'Emperador, et un autre à las Cascadas (notes de M. Canelle). Mais ces calcaires sont tout différents, ce sont des lumachelles à *Ostrea* et à *Pecten*, contenant avec des Polypiers le *Pecten subpleuronectes*, identiques aux calcaires du kil. 49, avec lesquels ils se relient sans doute par une série d'affleurements continus. Nous reviendrons sur les preuves de l'âge miocène de ces calcaires, en parlant des mollasses d'Alhajuela.

Il reste à mentionner dans le système de la Culebra l'intercalation de tufs et de coulées andésitiques contemporaines. L'une de ces coulées a été suivie par la galerie de la cote 41; des roches semblables ont été rencontrées par plusieurs puits, à des niveaux qui ne permettent pas d'en faire une coulée unique. L'examen microscopique montre d'ailleurs, indépendamment de la présence des tufs, qu'il ne peut pas s'agir d'une nappe d'intrusion.

Versant pacifique. — Au delà de la grande tranchée, le système ligniteux s'abaisse et disparaît au-dessous du niveau de la mer; les renseignements de ce côté proviennent seulement des anciens travaux du canal, et les nombreuses intrusions de roches éruptives, peut-être accompagnées de failles, en rendent l'interprétation parfois assez obscure. Pourtant, deux faits importants se détachent nettement: c'est d'abord la réapparition du calcaire du kil. 49, avec les mêmes fossiles, au kil. 59, 400, à l'emplacement projeté de l'écluse de Pedro-Miguel. Ce calcaire semble là encore intercalé dans la partie supérieure des grès ligniteux, il contient des Huitres, le *Pecten subpleuronectes*, et des Orbitoïdes roulés. Les sondages permettent de le suivre jusqu'au kil. 60,300, le montrent encore aux kil. 62 et 63, puis il disparaît pour faire place à des tufs gris trachytiques, qui prennent de plus en plus de développement en s'avancant vers la côte. Le

second point est la superposition incontestable des tufs aux calcaires, constatée dans les sondages des kil. 62 et 64,100. Les tufs trachytiques sont donc plus récents au moins qu'une partie des calcaires à *Pecten subpleuronectes*, c'est-à-dire que la base du Miocène inférieur. Ils sont associés à des roches trachytiques (Cerro Ancon près de Panama), et sont certainement d'origine marine : car, dans la roche identique de Barbacoas, M. Cayeux a trouvé un Foraminifère et M. Boutan a rapporté, de la côte de Panama, un petit Gastropode (Cérîte?) dans un échantillon plein de Foraminifères et associé aux tufs trachytiques.

Nous avons dit que M. Hill avait considéré les tufs trachytiques comme très anciens et probablement créacés. Les autres observateurs (Wagner, M. Boutan) avaient indiqué seulement que ces tufs devaient être antérieurs aux éruptions basiques. La première de ces attributions n'est plus soutenable; quant à la seconde opinion, elle n'est exacte que si on distingue, comme nous le ferons, deux séries d'éruptions basiques, les tufs étant, d'après ce qui précède, certainement postérieurs à la roche de Gamboa.

La position stratigraphique des tufs trachytiques et leur origine marine amènent à y voir le représentant de la série argileuse de Monkey Hill, où s'intercalent en effet des bancs d'aspect tufacé, riches en cristaux et contenant spécialement de l'orthose. Ce résultat est important, parce qu'il nous montre l'Isthme formé par un bombement symétrique, dont le sommet ne coïncide pas avec la ligne de crête, mais est à peu près situé au milieu de l'Isthme. Le centre du bombement est formé par la brèche volcanique (série éruptive ancienne), et de part et d'autre des couches de même âge plongent symétriquement vers les deux Océans. Seulement, du côté atlantique, la série est franchement marine et sans intercalations volcaniques; du côté pacifique, elle est en partie saumâtre et riche en intercalations éruptives.

D'après les données de Wagner, il paraît probable que la brèche de Gamboa reparaît dans les îles de la baie de Panama; cela tendrait à faire supposer que le bombement central de l'Isthme n'a pas eu dès l'époque oligocène l'importance que la différence de composition des deux versants tendrait d'abord à lui faire attribuer, et que la véritable cause de la différence est l'existence d'une ligne de rivage au Sud-Est. Il y a peut-être là une considération intéressante à retenir pour l'histoire de la formation de l'Isthme.

Partie centrale. Plateaux d'Alhajuela. — Reste maintenant à considérer la partie centrale : dans la tranchée même du canal elle ne laisse voir qu'un grand développement de la brèche de Gamboa, avec un lambeau de schistes ligniteux encore conservé à sa surface, auprès de Matachín. Mais dans la tranchée du chemin de fer, on voit des tufs trachytiques superposés à la brèche, et ces tufs semblent inséparables de ceux qui se développent près du pont de Barbacoas et sont identiques à ceux de Panama. La partie centrale nous montrerait donc là la brèche de Gamboa, directement recouverte par les tufs trachytiques.

Si l'on s'éloigne à l'Est, en suivant la vallée du Chagres, on trouve d'abord, dans le lit de la rivière, près de Las Cruces, un affleurement de calcaires compacts, avec Polyptères, qui représente peut-être le même niveau aquitainien qu'à Emperador. Mais plus en

amont, le lit du Chagres et tout le plateau, jusqu'à Alhajuela, sont occupés par des grès calcaifères, compacts et bien lités, où se retrouve la faune du kil. 49; c'est d'abord le grand Peigne lisse (*Pecten subpleuronectes*), puis la *Turritella tornata*; c'est aussi un grand Clypéastre, d'un type différent du type aquitainien de Schio; ce sont aussi de grands Bivalves, parmi lesquels le *Mytilus Michelini*. La roche est tout à fait semblable à celle de notre mollasse européenne, et le caractère faunique très voisin de celui des couches de Carry, près de Marseille (Oligocène supérieur passant au Miocène). Le Clypéastre et la Turritelle rattachent plutôt l'ensemble au Miocène, ce qui n'est d'ailleurs qu'une différence insignifiante et une question d'accolade sans importance, vu la continuité des dépôts. L'analyse microscopique y montre, avec beaucoup de débris volcaniques (sans orthose reconnaissable), des Bryozoaires et de nombreux Foraminifères, parmi lesquels une Globigérine.

En remontant au delà d'Alhajuela, on voit, d'après M. Canelle, des calcaires blancs, déjà signalés par M. Boutan, en partie identiques à la roche de Peña blanca, et pétris par place de gros Orbitoïdes; ces calcaires plongent faiblement et très régulièrement sous la série précédente.

Il résulte de cette disposition que l'axe de l'anticlinal central, comme l'indique assez bien la topographie, doit se diriger vers l'Est ou l'Est-Nord-Est, du côté des Altos de Maria Enrique, où Wagner signale des pointements de granite (1). Du côté de l'Ouest, le développement des tufs trachytiques dans la plaine de Palanquilla et la vallée du Rio Grande, d'autre part la continuation des couches à lignites près de la crête de partage, dans la vallée du Rio de los Indos, semblent indiquer que le bombement se poursuit entre les deux systèmes, c'est-à-dire sensiblement dans la même direction, suivant une ligne qui coïncide à peu près avec le cours moyen du Chagres entre las Cruces et Baila-Monos. Les centres d'éruptions, toutes basiques, de la période oligocène, se seraient localisés sur le versant Sud; les centres trachytiques de l'époque miocène, tout en restant plus abondants sur ce même versant (Cerro Ancon, Cerro Comboy) se seraient aussi produits sur le versant Nord (plaine de Palanquilla), mais très près du sommet du bombement.

Dernières éruptions. Crête de partage. — Avec les terrains précédemment décrits, se termine la série sédimentaire de l'Isthme, mais les éruptions ont continué après le dépôt du Miocène inférieur; ces dernières éruptions constituent, au moins près du canal, les sommets de la ligne de crête actuelle. Ce sont de nouveau des éruptions basiques de nature andésitique; autant qu'on le sait, elles sont aussi localisées sur le versant Sud; du

(1) D'autres affleurements de granite ont été signalés, plus loin au Nord-Est, dans les montagnes côtières (Sierra de San Blas) qui bordent le haut bassin du Chagres. Les cailloux granitiques roulés de la vallée du Chagres, doivent provenir de l'un ou l'autre de ces gisements, ainsi que les diorites quartzifères et les microgranites qui les accompagnent (diagnoses 1 et 2 et 30 de M. Termier). Les granites de la chaîne San Blas ont été attribués au Tertiaire, de même que ceux de Costa-Rica (Gabb) et de la Jamaïque (Hill). La structure des roches étudiées ne peut guère rien indiquer de spécial à ce sujet; à noter seulement un granite très riche en albite.

moins nous ne connaissons sur l'autre versant qu'une cinérite de roche basique (diagnose n° 20 de M. Termier), superposée aux tufs trachytiques et affleurant au col du Rio Gigante.

Nous ne pouvons fixer qu'une limite inférieure à l'âge de ces roches; elles traversent en filons le Miocène inférieur, auquel leurs coulées sont superposées. Mais ce que l'on peut dire, et ce qui est important, c'est qu'elles n'ont aucun rapport avec la série volcanique récente, connue à Costa Rica, au Nicaragua et au Guatémala, série dont les volcans actuels ne sont que la prolongation affaiblie. Tous les observateurs, et en particulier M. Hill, sont très explicites sur ce point. Or les tremblements de terre de la région sont directement liés aux éruptions volcaniques; c'est donc un point capital de savoir que l'activité volcanique est depuis longtemps éteinte dans la région de Panama.

Si l'on ne peut préciser l'époque à laquelle cette activité a cessé, il semble pourtant bien vraisemblable que c'est à l'époque miocène. M. Hill a fait remarquer, à l'appui de la même opinion, que les argiles supérieures de Monkey Hill ne contenaient plus de cristaux en débris; la preuve n'est pas suffisante, en supposant même que cette absence soit bien constatée; mais on peut dire que la cinérite basique du col du Rio Grande paraît étroitement associée à la partie supérieure des tufs trachytiques, et que les coulées du Cerro Culebra et du bord du Rio Chilibre semblent surmonter à peu près en concordance les couches miocènes; il ne paraît donc pas y avoir eu de grandes dénudations dans l'intervalle, ce qui serait peu explicable pour une région voisine du sommet du bombement anticlinal, si ce bombement et l'émersion correspondante étaient de longtemps antérieurs à l'éruption.

Les nombreux filons qui traversent le système lignitifère sont probablement les cheminées par où ces roches se sont fait passage; la chose est au moins prouvée pour les filons que M. Zürcher a observés dans la grande tranchée; leur composition est en effet identique à celle des roches du Cerro Culebra (V. plus loin les diagnoses 4 et 13 de M. Termier). Il est vrai qu'on trouve dans le conglomérat de Bohio des lapilli d'une roche assez analogue; mais, auprès du kil. 54, c'est-à-dire sous le Cerro Culebra même, le dyke de composition semblable à celle du Cerro diffère complètement des coulées voisines intercalées dans les couches lignitifères. En tout cas, il faut bien noter que ces sorties postérieures de roches éruptives n'ont aucunement disloqué les terrains traversés; il n'y a nullement à craindre de ce fait les relèvements ou brouillages de couches, dont la Commission d'études de 1884 avait cru devoir signaler l'influence possible au point de vue de la bonne tenue des terrains.

Les dernières éruptions jouent un rôle considérable dans la topographie, puisque ce sont elles qui forment, au moins en grande partie, l'arête culminante. Ce qu'on en voit aujourd'hui est le reste de nappes qui certainement ont eu une bien plus grande étendue. La conservation de ces roches suivant la ligne de faite actuelle s'explique tout naturellement, parce que cette ligne suit le bord du bombement central, et correspond au plongement relativement brusque des couches qui se produit en ce point. C'est ainsi que, dans le bassin de Paris, les collines de Dammartin et de Villers-Cotterets sont

alignées sur le bord des bombements très affaiblis dont elles jalonnent le tracé. On doit conclure de cette remarque que les coulées sont antérieures aux derniers mouvements qui ont relevé les couches de l'Isthme ; or, d'après M. Hill (1), on trouve sur la côte atlantique de Costa-Rica, la preuve que ces mouvements sont antérieurs au Pliocène. Il y a donc là une confirmation de l'attribution de ces roches à la période miocène.

Argiles rouges superficielles. — Il faut maintenant mentionner une formation qui n'a pas d'âge spécial, qui est pourtant la plus connue et la plus apparente dans l'Isthme, et celle qui vient naturellement à l'esprit quand on parle de la grande tranchée, nous voulons parler *des argiles rouges*. Ces argiles, propres aux climats tropicaux, sont le résultat de la désagrégation des terrains sous les actions atmosphériques. Quand cette désagrégation est arrivée à son terme, elle ne laisse subsister qu'une boue rouge et ferrugineuse, sans stratification ; mais il y a tous les degrés intermédiaires, et la décomposition commencée peut avoir respecté certains caractères des terrains, et en particulier la division en bancs encore différenciés ; c'est-à-dire qu'on se trouve en présence d'un système d'apparence sédimentaire, à caractères lithologiques propres et semblant correspondre à une formation spéciale. C'est ce qui a lieu notamment à la partie supérieure de la grande tranchée, où les argiles rouges, souvent encore bien litées, ont été distinguées dans notre coupe par une teinte rouge clair. Elles ressemblent d'autant plus à un système sédimentaire spécial, qui recouvrirait tous les autres *en discordance*, qu'on y distingue encore des bancs de brèches intercalés. Elles n'en représentent pas moins, et la teinte spéciale n'indique, qu'un *faciès d'altération plus ou moins avancé*.

Quand il existe dans la série un banc argileux et imperméable, il est naturel que l'altération s'arrête à ce banc. La série des argiles rouges repose donc souvent sur un banc argileux, qui, surtout en cas d'infiltrations abondantes, peut favoriser les glissements. Le danger est particulièrement grand, quand la pente des couches a lieu vers la tranchée ; alors un faible ébranlement, ou même le poids seul des argiles, peut suffire pour les faire glisser sur leur base inclinée et lubrifiée, et si la masse est considérable, il est à craindre qu'une fois mise en marche, rien ne puisse l'arrêter. On a vu récemment, avec d'autres terrains il est vrai, mais dans des conditions analogues, un exemple grandiose de ces phénomènes, dans le glissement du Gouffre, sur le bord du Gardon, dans le bassin d'Alais. On en a vu, à Panama même, un exemple également célèbre, quoique bien plus réduit, dans l'éboulement de Cucaracha. Les précautions à prendre pour éviter le retour de pareils accidents, sont bien connues et ont déjà été appliquées avec succès.

Il convient d'ailleurs d'ajouter que l'arrêt de la décomposition à une couche imperméable qui sert de base aux argiles rouges, est plutôt théorique que réel. En fait, il y a rarement une ligne nette de démarcation, et le plus souvent les argiles se relient à leur substratum par tous les passages intermédiaires. Dans ce cas une mise en mouvement d'ensemble est peu à craindre, et le danger se bornerait à quelques éboulements locaux. A Cucaracha, le niveau de base des argiles est depuis longtemps dépassé, et la grande

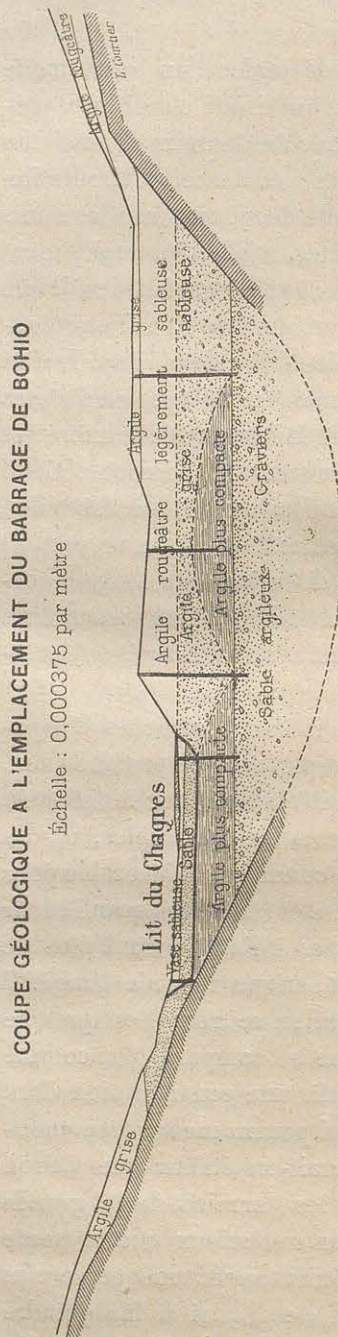
(1) Hill. *loc. cit.*, p. 248 et 254.

largeur donnée aux anciens déblais est déjà une garantie; il faut pourtant conseiller, à cause de la pente signalée et de l'épaisseur des argiles, de renforcer et de plutôt exagérer en ce point les travaux préventifs de consolidation.

Altération des couches en profondeur. — C'est ici le cas de parler d'un autre mode d'altération des roches, moins apparent, et probablement dû aussi aux conditions spéciales du climat. Le lit argileux qui arrête l'altération profonde des terrains n'empêche pas toute circulation des eaux dans les couches inférieures, et de cette circulation résulte un phénomène bien curieux et bien spécial, que la taille des coupes minces a mis en évidence : les roches, en apparence compactes et solides, s'effritent rapidement dans l'eau; après une immersion de quelques minutes, une simple pression des doigts suffit à les désagréger, et le cas s'est même produit pour une roche éruptive. Pour pouvoir faire les plaques minces, il a fallu immerger dans l'huile et non dans l'eau. Le fait s'explique jusqu'à un certain point quand on regarde ces coupes au microscope; toutes les roches sont traversées de traînées argileuses, dépolarisant faiblement la lumière, et formant quelquefois, autour des cristaux conservés, toute la trame de la roche. Cette argile, assez différente comme aspect, d'après M. Cayeux, de celles qu'il a eu l'occasion d'examiner dans les roches de nos pays, semble souvent avec certitude être un produit de décomposition; mais elle reste en général très difficile à distinguer de l'argile certainement sédimentaire qu'on observe dans d'autres échantillons. Dans les roches éruptives, ce sont surtout les parties vitreuses qui semblent avoir subi cette décomposition.

Quelle qu'en soit l'explication chimique, le fait est indéniable : des roches d'apparence solide, non exposées à l'air puisqu'elles sont sorties de puits assez profonds, ne possèdent plus qu'une cohésion instable, et il suffit d'un faible effort pour les effriter. Elles fusent, comme feraient des marnes, ou s'égrènent comme des sables, et, au point de vue pratique, on peut craindre qu'il n'y ait là une condition défavorable pour la solidité des tranchées. On peut répondre que l'expérience a été faite en grand et sur place, que des tranchées importantes ont été laissées exposées à l'air pendant plus de deux ans, sans travaux de soutènement ni de muraillement, et que rien n'a bougé. Il semblerait que la cohésion instable, dont nous venons de parler, se trouve en quelque sorte stabilisée par la masse et qu'une paroi de tranchée ne se comporte pas comme un fragment isolé. Il n'en est pas moins vrai qu'il y aura là une considération dont il faudra tenir compte, surtout pour la canette du canal, et qui pourra mener à augmenter l'importance prévue des muraillements. Peut-être pourrait-on établir une liaison entre le fait signalé et la circonstance assez curieuse que les terrains de la grande tranchée ont semblé dans les derniers travaux se tenir d'autant mieux que la pente est plus forte. Ils se tiennent mieux, au moins momentanément, avec une pente plus forte, parce qu'ils sont ainsi plus entourés et plus maintenus, ce à quoi il faut joindre évidemment que la surface exposée au ruissellement et par conséquent l'influence du ruissellement sont d'autant moindres que la pente du talus est plus grande.

Alluvions et phénomènes quaternaires. — Pour terminer, nous dirons un mot des formations quaternaires qui remplissent les grandes plaines alluviales où la vallée du Chagres s'élargit. Elles ont malheureusement une épaisseur assez grande pour empêcher, sur l'emplacement d'une partie des barrages projetés, d'aller chercher pour les fondations la roche sous-jacente. On sait très peu de chose à leur sujet. Pourtant, M. Zürcher a pu constater, près de Bohio, l'existence d'une terrasse ancienne, composée d'argile sableuse, grise et compacte, sous laquelle les sondages ont rencontré un lit épais de graviers mêlés de sables argileux. La continuité et l'homogénéité de la couche d'argile ont été constatées sur une étendue assez considérable; cette couche assure donc une base stable pour l'établissement d'un grand barrage en terre; mais il est difficile de tirer de la seule existence de cette terrasse quelque conclusion précise sur l'histoire de la formation de la vallée.



Au point de vue des récents mouvements du sol, M. Hill a fait remarquer que, près de l'embouchure du Chagres, une partie des argiles de la plaine était de formation marine. Il n'y a guère de conséquence à en tirer, puisqu'on est là à peu près au niveau actuel de la mer. M. Hill signale de plus les traces d'une ancienne plaine de dénudation marine (ancien niveau de base) au sommet des Monkey-Hills et des Mindi-Hills; ce serait l'indice d'un soulèvement relativement récent, mais d'âge indéterminé. L'absence du Pliocène le long de la côte atlantique, sauf en un point de Costa-Rica, montrerait d'autre part que la mer, à cette époque, s'avancait moins loin qu'actuellement; les indices sont donc de sens contraire, et dénoteraient seulement, sans permettre de rien préciser, une alternance de mouvements d'exhaussement et d'affaissement. Du côté du Pacifique, la baie de Panama, avec ses îles restées en saillie, paraît témoigner d'une tendance plus marquée à la submersion, et l'impression est confirmée par l'examen des courbes de niveau, qui semblent encore correspondre aux profils d'une ancienne vallée submergée.

Résumé. Coupe d'ensemble. — La coupe qui est jointe au rapport général, et dont nous donnons ici une réduction, résume ces explications. Elle montre le bombement central, formé par les roches éruptives oligocènes; dans

DESCRIPTION ET DIAGNOSE MICROSCOPIQUE DES ROCHES

Il reste maintenant à entrer dans quelques détails plus circonstanciés sur les différentes formations qui seront rencontrées par la tranchée du canal.

Brèche de Gamboa. — La brèche est d'une dureté très grande, qui y rendra le travail notablement plus long et plus pénible que dans les autres terrains. C'est donc une circonstance favorable, que la saillie topographique du sol ne coïncide pas avec l'axe du bombement. On peut estimer qu'il n'y aura guère qu'un dixième de la tranchée centrale à creuser dans la roche de Gamboa.

On peut voir dans la description de M. Boutan que la roche de Gamboa présente de nombreuses variétés, depuis la roche éruptive massive jusqu'à la brèche à noyaux arrondis ou à gros blocs, dont le volume peut atteindre plusieurs mètres cubes. M. Boutan a d'ailleurs bien établi que, sauf sur les bords, et malgré les variations, la pâte reste de nature volcanique (pyroxène en cristaux, labrador et fer oxydulé) et la nature éruptive indiscutable. Voici les diagnoses de M. Termier pour un échantillon pris à Bohio, près du canal, (n° 28) et pour un échantillon de la carrière de Bohio (n° 27).

« *Roche de Gamboa.* — Tuf éruptif. Lapilli d'andésites variées, riches en augite et « en feldspath, les unes très chargées de fer et en grande partie vitreuses (elles con- « tiennent un peu d'olivine), les autres microlitiques et magnésiennes (pâte décomposée « et devenue verte). Le feldspath, souvent zoné, va de la bytownite à l'anorthite.

« Outre ces lapilli d'andésites, il y a de nombreux débris de cristaux d'augite et de « feldspath, provenant de roches analogues.

« Ciment formé d'une matière verte isotrope (serpentine). Dans cette matière vert « foncé, il y a çà et là des parties plus claires, jaune verdâtre, formées de fibres ténues, « parallèles ou radiées, à extinction longitudinale, ayant à peu près la biréfringence de « l'amphibole. L'augite des lapilli et des débris est très altéré et se change en la même « matière verte isotrope qui forme le ciment du tuf. *Il n'y a pas de matériaux qui ne « soient d'origine éruptive.*

« Calcite çà et là mêlée au ciment ou dans les fentes.

« *Roche de la carrière de Bohio* (ciment des gros blocs). — Tuf éruptif. Lapilli d'an- « désites variées, généralement finement microlitiques (l'une de ces andésites ressemble « beaucoup à celle du Cerro Culebra). Les autres (roche n° 18) renferment de grands « cristaux de fer oxydulé, d'augite et de feldspath très basique (de 60 à 80 0/0 d'anor- « thite) dans une pâte holocristalline, à grains très fins, de labrador, augite et fer « oxydulé. Toutes ces andésites sont toujours très feldspathiques et leur feldspath est « toujours très basique (anorthite ou bytownite), quelquefois fortement zoné.

« Avec les lapilli d'andésites, il y a de nombreux débris, souvent anguleux, de felds- « path et d'augite. Le ciment est une sorte de serpentine isotrope, faite aux dépens de « l'augite ou de la pâte des lapilli. Pas de grains de sable; tous les matériaux sont d'ori- « gine éruptive.

« Ce tuf est très analogue à celui de Gamboa, bien que les lapilli ne soient pas tout

« à fait les mêmes. Ceux qui dominent dans le tuf de Gamboa sont d'une roche plus vitreuse, plus chargée d'oxyde de fer. Mais les feldspaths sont *identiques*, et la composition chimique des deux roches doit être peu différente. »

Il est à noter que Wagner d'abord, puis M. Boutan, ont signalé deux variétés de brèches, l'une à fragments basiques, c'est celle qui est étudiée plus haut, l'autre à fragments plus acides, la seconde semblant inférieure à la première. Nous n'avons pas eu l'occasion de voir ni d'étudier cette seconde variété.

Près d'Emperador et de las Cascadas, (sondages du kilom. 49.500 et du kilom. 48.380) l'ancienne coupe signale, intercalés dans les argilolites (c'est-à-dire dans la roche éruptive, autant qu'il semble permis d'interpréter les dénominations adoptées) des jaspes violets ou verdâtres et très durs. On en trouve des morceaux à la surface, empâtés dans les argiles qui surmontent la roche de Gamboa; on en trouve aussi de gros cailloux dans les alluvions du Rio Grande. Ces échantillons ne montrent au microscope qu'un agrégat de quartz plus ou moins largement cristallisé, mais toujours sans trace de fossiles. Quelques-uns sont zonés; les bandes parallèles et différemment colorées ne correspondent qu'à une différence de grosseur de cristaux de quartz. Il est difficile actuellement de se prononcer sur l'origine de ces jaspes.

Les conglomérats, très développés et très visibles à Bohio, sont remarquables par la nature différente et par la grosseur des éléments inclus, dont une partie seulement sont roulés. L'intervention d'un transport par l'eau n'a été mise en doute par aucun des observateurs qui se sont succédé, mais il est difficile de s'expliquer avec précision le mode de formation et l'origine de ces éléments étrangers. Parmi les cailloux du conglomérat, M. Termier a examiné et décrit: une microdiorite basique (diagnose 5), deux andésites à amphibole (diagn. 23 et 25), une andésite augitique (diagn. 29) et d'autres andésites plus ou moins vitreuses (diagn. 18 et 27). La variété des éléments semble donc très grande; la microdiorite a surtout une apparence de fraîcheur et d'ancienneté, qui la distingue des autres roches du pays. Nous en donnons la description, d'après M. Termier:

« *Microdiorite basique.* — Gros cristaux de hornblende, et gros cristaux d'un feldspath zoné, allant habituellement de l'andésine à l'anorthite, quelquefois de l'oligoclase à l'anorthite. Généralement le cœur est plus basique que le bord, mais parfois l'inverse a lieu. Le zonage a été exagéré, selon toute vraisemblance, par la métasomatose: cœurs altérés, bords limpides.

« La pâte est une mosaïque de très petits feldspaths, parfois zonés, presque toujours *très basiques*. Dans les interstices de cette mosaïque, petites lamelles de chlorite remplaçant probablement un fond de mica noir.

« La roche passe aux lamprophyres. C'est sans doute une forme relativement profonde des andésites à amphibole, n^{os} 23 et 25. »

Cette dernière remarque, en faisant attribuer la différence d'aspect de la roche non à une différence d'âge, mais à une différence de profondeur, suggère l'idée que l'influence du transport par l'eau pourrait être seulement apparente, et qu'il s'agirait de fragments rejetés, arrachés, brisés ou roulés par friction dans une cheminée volcanique.

Système des schistes bitumineux (grès et tufs de la Culebra).

Le système des couches lignifères, avec ses brèches et coulées intercalées, doit former la grande masse des terrains traversés par les tranchées d'Emperador et de la Culebra. Nous avons réuni à son sujet les renseignements suivants :

La base, telle qu'elle est marquée sur la coupe, est encore mal connue. Les intercalations de roches éruptives dans la brèche doivent être bien plus nombreuses, si même toute la première traînée de brèches n'est pas éruptive. Ainsi, pour un échantillon recueilli au kilom. 48,100, entre les cotes 19 et 20, M. Termier donne la diagnose suivante (diagn. 7) :

« Roche noire, bulleuse, presque entièrement formée d'un verre brunâtre. Ça et là quelques cristaux d'andésine, rongés par le fer ambiant. Les parois des vacuoles sont tapissées de petits cristaux de quartz. La roche est une andésite vitreuse scoraciée, postérieurement silicifiée. »

« Il convient de remarquer l'acidité relative des feldspaths ; la plupart des andésites de la région sont à bytownite ou anorthite.

Au même point, à la cote 20, la roche (diagn. 26 T), appartient à une *coulée vitreuse bréchiforme*. En voici la description :

« *Coulée vitreuse bréchiforme*. — Galets d'une andésite noire à augite, riche en Fe^3O^4 , analogue, sinon identique à celle de l'échantillon 18 (galet dans la brèche de Bohio). Débris isolés de feldspath et d'augite semblant provenir de cette même andésite. Quelques-uns de ces débris feldspathiques sont corrodés et guillochés, comme si la matière ambiante les avait dissous.

« Cette matière ambiante est un verre brunâtre, rempli de bulles jadis gazeuses. Ces bulles sont actuellement comblées par des zéolithes ou de l'amphibole fibreuse. Autour de chaque bulle, il y a un mince liseré d'une autre substance fibreuse assez biréfringente, comme dans le verre de la palagonite.

« Ce verre bulleux est identique, sauf la silicification, à celui de l'échantillon 7. »

Un échantillon de brèches de la seconde nappe marquée sur la coupe, au-dessus des petites chutes de l'Obispo, a été examiné par M. Cayeux (diagn. 33). C'est une brèche à ciment jaune sale, onctueux au toucher. Elle renferme de nombreux morceaux d'andésite. Le ciment est très phylliteux par places.

En tout cas, de l'autre côté du dyke qui détermine les chutes (roche non examinée), on trouve au-dessus de cette dernière brèche une série franchement sédimentaire, formée d'un peu de schistes et de grès, surmontés par la lentille calcaire du kilom. 49 à *Pecten subpleuronectes* et par la couche de lignites. Cet ensemble forme ainsi une cuvette de 5 à 600 mètres de long dans les brèches ; il semble en résulter que le système franchement sédimentaire a là une très faible épaisseur, 30 mètres environ, dont quelques mètres à peine en schistes bitumineux, et que par conséquent, d'après ce que nous avons vu, l'épaisseur s'accroît fortement en s'éloignant du bombement du côté du Pacifique.

Entre les kilomètres 50 et 52, il y a une double saillie du substratum éruptif, qui fait remonter deux fois la roche de Gamboa jusqu'auprès de la cote 60 ; c'est cette double

saillie qui amène dans la future tranchée d'Emperador des terrains plus durs à percer que ceux de la tranchée de la Culebra. Sur tout cet espace, la roche éruptive est surmontée par des brèches, parmi lesquelles il y a peut-être quelques poudingues sédimentaires, mais dont une grande partie semble au moins d'origine mixte. Ainsi, au kilom. 50,640, à la cote 40, on trouve (diagn. 34) une roche dure, gris verdâtre, montrant quelques feldspaths frais et des taches grises correspondant à des parties plus fraîches. L'aspect n'a rien de sédimentaire. Au kilom. 51, cote 40 (diagn. 29 de M. Cayeux), c'est une roche gris foncé, montrant quelques feldspaths vitreux et des fragments de roches volcaniques. Au microscope elle est essentiellement formée d'une pâte se dédoublant en une trame chloriteuse, continue ou non, mélangée à une matière amorphe argileuse prédominante. On y voit, avec plusieurs grandes plages de calcite très déchiquetée, quelques morceaux d'andésite décomposée et de très rares feldspaths plagioclases basiques. Pour M. Cayeux, c'est un tuf à pâte très altérée.

Au kilom. 51,500, cote 38 (diagn. 27 C), on trouve une brèche à gros éléments, qui au microscope se montre essentiellement composée de morceaux d'andésite de tout volume, avec grands feldspaths basiques. Il y a de plus du quartz et de la calcite secondaires dans des vacuoles, et de rares nids d'épidote. Cette brèche pourrait encore appartenir au système de Gamboa, et montre la liaison intime des deux séries. Sur tout l'espace précité, c'est-à-dire entre les kilom. 50 et 52, la brèche est recouverte d'argiles rouges, résultant d'une décomposition incomplète, qui permet d'y distinguer encore la stratification, ainsi que des bancs de brèches et une coulée de roche éruptive intercalés. Le tout est percé de deux gros filons (non examinés), qui montent jusqu'au haut de la tranchée, avec une tendance marquée à s'épanouir dans le haut (kilom. 50,180 et 50,650).

Les argiles rouges du kilom. 51 ont donné lieu dernièrement à un petit éboulement.

Avant de quitter cette section, il est bon de mentionner encore les diagnoses de deux roches attribuées sur la coupe à la partie supérieure de la série de Gamboa (kilom. 50,720, cote 45, diagn. 24 T. (1) et kilom. 50,776, diagn. 31C.).

La première est une andésite vacuolaire, dont M. Termier donne la description suivante :

« *Andésite vacuolaire.* — Roche semi-vitreuse, semi-microlitique. Les microlites « sont de très petites tablettes de bytownite. Ça et là quelques petits cristaux un peu « plus gros du même feldspath et quelques cristaux d'un minéral magnésien entièrement « transformé en calcite. La structure est un peu fluidale.

« Les microlites s'ordonnent tangentiellement autour du bord des vacuoles, où s'est « concentré un liseré d'oxyde de fer. Les vacuoles elles-mêmes correspondent à des « enclaves vitreuses, au sein desquelles il y a des îlots de la roche microlitique ambiante. « De l'enclave vitreuse il ne reste plus qu'un peu de verre ; le reste s'est transformé en

(1) La lettre T signifie que la diagnose a été faite par M. Termier ; la lettre C, que la diagnose a été faite par M. Cayeux.

« un mélange de chlorite et de quartz, ou en agrégats sphérolitiques d'amphibole. Ces produits secondaires se détachent facilement, d'où les vacuoles qui remplacent beau- coup des anciennes enclaves. »

« Cet échantillon semble provenir d'une coulée. »

La roche du kilom. 50,776 est une roche rouge brique foncé, piqueté de vert. La couleur même indique une décomposition plus avancée. Au microscope, on y voit des plages caractérisées par des sections verdâtres chloriteuses, de forme grossièrement circulaire ou nettement polygonale, noyées dans une pâte microlitique ou non, suivant l'état d'altération de la roche. L'une des sections polygonales rappelle une coupe de leucite. Il y a de rares morceaux d'andésite. La pâte est rougeâtre, et se décompose en une fine trame chloriteuse et en matière argileuse amorphe.

Il résulte de ces descriptions que, jusqu'au kilom. 52, en dehors de la petite cuvette du kilom. 49, on n'a pas de preuve bien nette de l'existence d'une série franchement sédimentaire; les argiles rouges sont trop décomposées, et l'élément éruptif joue un trop grand rôle dans les brèches pour qu'on puisse avec certitude assimiler tout ou partie de cette série aux terrains rencontrés plus au Sud. Il convient de rappeler que c'est dans cette partie qu'affleure, un peu à l'Est de la station d'Emperador, le calcaire à Nummulites, au milieu d'argiles rouges, et très peu au-dessus de roches éruptives qui se montrent dans le fond des vallées.

Tranchée de la Culebra. — Au kilom. 51,840, la roche de Gamboa disparaît et plonge définitivement en profond leur, avec le cortège de brèches que nous avons suivi jusque-là. S'il n'y a pas de faille, et rien n'indique qu'il y en ait, ce serait un argument pour considérer les brèches comme intimement liées à la roche de Gamboa. Il y a encore au Sud quelques brèches intercalées, mais rien ne rappelle plus leur grand développement au Nord.

La masse qui s'étend jusqu'à l'extrémité de la tranchée est, dans son ensemble, franchement sédimentaire, formée de schistes bitumineux, de grès plus ou moins argileux et couronnés par un banc de lignites. Les couches, à peu près horizontales, sauf au bord du substratum éruptif sur lequel elles s'appuient, dessinent pourtant une double ondulation, qui, à l'extrémité de la tranchée, les entraîne définitivement à un niveau plus bas, le sommet du système se montrant encore à la cote 15 près de Pedro-Miguel (surmonté par les mêmes calcaires qu'au kilom. 49) et s'abaissant ensuite au-dessous du niveau de la mer. En outre des ondulations signalées, il faut noter vers le kilom. 53 une inclinaison notable des couches vers le Sud-Ouest, due probablement à une petite ondulation transversale. Cette inclinaison crée, au point de vue de la stabilité du manteau d'argiles rouges de la rive gauche, des conditions peu favorables, qui ont déjà déterminé l'éboulement de Cucaracha. L'éboulement est depuis longtemps arrêté, et les ingénieurs n'en craignent plus le retour. Nous devons pourtant répéter qu'il sera prudent de plutôt exagérer en ce point les mesures de précautions préventives.

Comme exemple de la composition des parties gréseuses, nous citons la diagnose 18 C. (kil. 53,534) :

« Grès, à peine composé de quartz dans la proportion de la moitié; agrégats de
« quartz fréquents; fragments de roches éruptives très altérées, plus ou moins verdies;
« quelques morceaux d'andésite et plusieurs feldspaths isolés; grains verts à contours
« arrondis, qui pourraient être de la glauconie. Le ciment est formé d'une matière argi-
« leuse. »

A comparer la diagnose 17 T. (kilom. 54,200, cote 67) :

« Grès fin. Grains à peine roulés de quartz, débris anguleux de feldspath et d'augite,
« grains vaguement arrondis de limonite et de chlorite. Ciment argileux et ferrugineux,
« où s'individualisent des cristaux indéterminables. Quelques lapilli de roches volcaniques
« très altérées et à peine reconnaissables: »

Comme exemple des parties schisteuses, nous citerons aussi quelques diagnoses :

« 49 C. (kilom. 54,680). Argile grise cohérente. Au microscope, c'est une argile sé-
« dimentaire en partie cristalline, chargée de petits quartz et de feldspaths altérés. »

« 5 C. (kilom. 55,465). Roche gris verdâtre, pétrie de grains verts. C'est une argile
« très cristalline, chargée de nombreux grains de glauconie, dont l'un renferme plusieurs
« débris organiques, parmi lesquels un Foraminifère. Quartz élastique très accessoire; felds-
« paths altérés. Quelques fragments de verre et d'une roche microlitique très altérée. »

« 6 C. (kil. 55,645) Roche gris marron, ayant l'aspect d'une argile desséchée. C'est
« une argile très fine, formée d'un mélange intime de matière amorphe et de fines par-
« ticules cristallines. Veinules et plages d'une matière jaune sale, fibreuse, très biré-
« fringente. Très rares petits grains de quartz élastiques. »

« 21 T. (kil. 55,513), cote 41. Argile. Lapilli en petits galets de roches basiques très
« altérées, cimentés par une argile ferrugineuse, qui semble provenir elle-même de la
« décomposition de matériaux semblables. Rares grains de quartz. »

Enfin une argile blanche, prise au-dessus de la couche de lignites, à la base de la
série altérée, a montré à M. Cayeux la composition suivante :

« 9 C. Argile blanche, très cohérente. Au microscope, c'est une argile extrême-
« ment fine, en majeure partie amorphe, avec plages et petits éléments de calcite, à
« contours très rongés. Quelques petits quartz élastiques. »

Nous devons faire remarquer que toutes les diagnoses précédentes s'appliquent à
des échantillons de la partie supérieure de la tranchée, pris au voisinage des coulées de
roches éruptives. Nous avons pu, plus récemment, d'après un dernier envoi, examiner
des morceaux de schistes bitumineux provenant des niveaux plus bas traversés dans les
puits de recherches. La proportion des fragments volcaniques y est beaucoup moindre;
la matière bitumineuse semble, au microscope, s'y isoler sous forme de taches noires.
Les Foraminifères y sont abondants; M. Cayeux, comme nous l'avons dit, y a reconnu
des coupes de Textulaires et de Globigérines.

Vers la partie supérieure de la tranchée, on rencontre une nappe intercalée de ro-
che éruptive qui, d'après les cotes constatées dans les divers points, nous avait paru
légèrement oblique aux couches, et que nous avions attribuée d'abord à une nappe
d'intrusion. Il n'en est rien; c'est une coulée accompagnée partout de tufs incontestables.
L'obliquité apparente de son allure est due sans doute à ce qu'il y a plusieurs coulées à

des niveaux légèrement différents. Voici la diagnose de la roche (22 T. kil. 34,300, cote 70).

« *Andésite grise*. — Cristaux de labrador, faiblement zonés, contenant environ 65 à 70 0/0 d'anorthite. *Pâte fluidale*, encore en grande partie vitreuse, mais qui devait être originellement toute vitreuse et qui s'est partiellement dévitrifiée. Le produit de cette dévitrification paraît être un feldspath, probablement plus acide que celui des grands cristaux.

« Rares cristaux d'apatite. Rares grains de Fe^3O^4 . *L'absence des minéraux magnésiens semble complète*.

« Cet échantillon paraît provenir d'une *véritable coulée*. La roche est pour la région d'une acidité remarquable. Aucun autre des 31 échantillons examinés ne présente de ressemblance avec elle. La roche filonienne n° 4, prise en un point très voisin, est tout à fait différente .»

Quant aux tufs qui accompagnent cette coulée, en voici plusieurs diagnoses, qui ne laissent aucun doute :

« 14 T. (kil. 54,400, cote 72). Tuf ou cinérite. Lapilli de roches éruptives *variées*, en grande partie décomposées. Débris de verre. Nombreux débris de cristaux, feldspaths et augite. Ciment argileux.

« 10 C. (kil. 54,580). Roche gris verdâtre, montrant quelques feldspaths vitreux. Au microscope, nombreux débris de roches microlitiques, à pâte entièrement cristalline ou non, parmi lesquels on reconnaît plusieurs morceaux d'andésite. Les feldspaths de ces andésites sont le plus souvent de petits microlites, et exceptionnellement des éléments d'assez grande taille, qui font de la roche une espèce de diabase. Grands feldspaths basiques isolés, très frais, le plus souvent fragmentaires; débris de verre. Le ciment est un produit vitreux, renfermant par places des corps mal individualisés, visibles aux faibles grossissements, que je considère comme des cristallites de grande taille. C'est en réalité un mélange intime d'une matière amorphe prédominante et de fines particules cristallines résultant de la dévitrification partielle de la matière amorphe. La roche est un tuf. »

Les diagnoses 14 C., 15 C. et 21 C. mènent à la même conclusion.

Il est intéressant de comparer à ces éléments contemporains la roche filonienne postérieure du kil. 54,410.

C'est, d'après M. Termier, une andésite augitique noire, à grains très fins, holocristalline, semi-ophitique, ressemblant à certaines diabases. En voici la diagnose (diagnose 41).

« Tablettes minces d'anorthite, quelquefois orientées dans une vague fluidalité, cimentées par des cristaux informes d'augite ou par des matières brunâtres isotropes qui semblent provenir de la décomposition de l'augite. Magnétite assez abondante. »

La roche est, comme je l'ai dit, presque identique à celle qui forme le Cerro Culebra, et dont la diagnose (13 T.) est la suivante : « Andésite augitique. Fouillis de petites tablettes d'anorthite, quelquefois zonées et rétrogradant ainsi vers la bytownite. Dans les interstices, grains et baguettes d'augite, et beaucoup de verre brunâtre en partie

« dévitrifié. La consolidation paraît avoir été très rapide. Beaucoup de petits grains
« de magnétite. »

Il n'a été examiné qu'un des filons qui percent verticalement le système lignitifère. Mais il y en a beaucoup d'autres, et notamment, sur le versant pacifique, les gros dykes de Paraiso et celui de Pedro-Miguel. Il n'est pas certain à priori, ni même probable, que tous ces dykes aient la même composition, et si ce sont eux qui, comme pour le Cerro Culebra, ont donné passage aux roches d'épanchement des Cerros, il n'y a pas lieu de s'étonner que toutes ces dernières, quoique appartenant certainement à une même série géologique, n'aient pas partout la même composition. C'est ainsi qu'un échantillon rapporté par M. Zürcher, et provenant d'une nappe supérieure aux grès miocènes de la haute vallée du Chilibre, a donné lieu à la diagnose suivante :

« Diagnose 16 T. Andésite micacée, grands cristaux d'andésine, quelquefois un peu
« zonés; cristaux d'augite et de mica noir (ces derniers fort altérés). Pâte en grande
« partie vitreuse, où s'isolent des microlites d'andésine et d'autres de mica noir : ces
« derniers mal formés et en partie décomposés.

« Cette roche a une composition fort différente de celle de l'échantillon 13 (Cerro
« Culebra). Elle est certainement beaucoup moins basique. »

Section du versant pacifique. Tufs trachytiques. — La dernière section du canal, celle du versant pacifique, donne lieu à moins d'observations. Il n'y a plus de tranchées profondes. Nous avons dit qu'après avoir traversé une région intermédiaire, où apparaît encore le système lignitifère, traversé de gros dykes et surmonté des calcaires fossilifères du kilom. 49, on entre dans la partie élargie de la plaine du Rio Grande, qui semble tout entière formée, sous les alluvions, par des tufs trachytiques.

Voici deux diagnoses de ces tufs (12 T. et 11 T.).

« 12 T. *Cinérîte de vitrophyre.* — Débris de verre brunâtre ou verdâtre, criblé de
« bulles de forme oblongue. Cristaux variés, feldspath et augite, en partie détruits.
« Ciment argileux d'un brun clair, avec taches très grandes, de couleur vert clair. Ce
« ciment est crypto-cristallin.

« Les bulles sont remplies par divers minéraux secondaires, entre autres une zéolite
« clivable, faiblement biréfringente, et de petites houppes sphérolitiques d'un minéral
« vert foncé, probablement une amphibole.

« 11 T. *Cinérîte de vitrophyre.* — Aiguilles de verre brunâtre, généralement
« courbes; débris informes d'un verre violacé; cristaux de mica et de feldspath *vitriifiés*,
« débris de feldspaths variables, oligoclase-albite ou feldspaths basiques, le tout nageant
« dans un ciment amorphe, où s'individualisent de très fines fibrilles cristallines d'une
« matière indéterminable. Beaucoup de bulles. »

A ces cinérites (tufs rhyolitiques de M. Hill) sont associés des pointements et buttes de trachyte, comme au Cerro Ancon.

« Diagnose 31 T. *Trachyte.* Roche holocristalline, ne renfermant comme grands
« cristaux que des individus clairsemés de sanidine, perthitisés par de l'albite et mâclés
« Carlsbad. La pâte est un fouillis très fin de lamelles informes d'un feldspath acide,

« probablement anorthose (mâcles rares), de petites aiguilles ou de petits grains d'un
« minéral vert jaunâtre, faiblement polychroïque assez biréfringent (probablement mica
« altéré) et de grains, petits et rares, de magnétite. »

Enfin, quoique la tranchée du canal n'ait pas à les rencontrer, nous rappellerons que la plaine de Palenquilla, en face de Barbacoas et de Frijoles, est formée par les mêmes tufs, avec pointements trachytiques semblables. Voici les diagnoses de ces roches :

« 15 T. *Cinérîte de vitrophyre, avec traces d'organismes.* — Débris de verre de
« formes variées, quelquefois anguleux, quelquefois parfaitement arrondis, souvent en
« aiguilles courbes. Ce verre est de couleur claire, blond pâle. Il contient çà et là des
« inclusions gazeuses, des corpuscules cristallins ou vitreux plus réfringents.

« Avec les débris de verre, il y a, d'après M. Cayeux, des petits corps d'origine or-
« ganique : traces de Foraminifères et spicules d'éponge. Ces spicules sont partielle-
« ment amorphes (opale) et partiellement cristallisés (calcédoine).

« Cette poussière très fine (les plus gros débris ont 1/3 de millimètre) est agglutinée
« par une matière isotrope brune, assez chargée d'oxyde de fer, sans doute une cendre
« vitro-cristalline transformée en argile par métasomatose. — Nombreux vides.

« 40 T. — Trachyte, même roche que le n° 31, mais plus altérée, du moins quant au
« minéral magnésien.

« Cristaux assez volumineux de sanidine perthitisés par de l'albite. Pâte holocris-
« talline d'anorthose, avec plages confuses d'une substance brune, isotrope ou presque
« isotrope, qui résulte de la décomposition d'un minéral ferro-magnésien (probablement
« mica noir). Un peu de magnétite et d'oligiste.

« L'anorthose est fréquemment en cristaux aplatis, nettement formés, tandis que
« dans l'échantillon 31, elle est généralement en lamelles informes.

Le col du Rio Gigante est formé, d'après l'échantillon unique que nous en possédons, par une cinérîte basique, vraisemblablement superposée aux tufs trachytiques. En voici la diagnose :

« 20 T. — Cinérîte de roche basique. Sable fin composé de cristaux de feldspath ba-
« sique zoné, de cristaux d'augite, de petits lapilli de roche noire microlitique très altérée,
« et de rares grains de quartz. Ciment argileux brun et vert, provenant de la décompo-
« sition des lapilli.

Annexe II

LES PHÉNOMÈNES VOLCANIQUES

ET LES

TREMBLEMENTS DE TERRE

DE

L'AMÉRIQUE CENTRALE

Par M. **Marcel BERTRAND**, *Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Mines,*
Professeur de Géologie à l'École Nationale Supérieure des Mines.

Les Phénomènes volcaniques et les Tremblements de terre de l'Amérique centrale.

LIAISON ENTRE LES TREMBLEMENTS DE TERRE ET LES PHÉNOMÈNES VOLCANIQUES

L'Amérique centrale est le pays classique des tremblements de terre. Les catastrophes de Guatemala, de San Salvador, de San José de Costa-Rica, qui, à plusieurs reprises, ont détruit des villes entières, sont célèbres dans l'histoire de ces phénomènes. C'est certainement là un compartiment mobile de l'écorce terrestre. Il importe donc d'examiner si la sécurité et la conservation des travaux, dans un canal interocéanique, ont quelque chose à craindre de ce côté.

Tout d'abord l'expérience montre que dans l'Amérique centrale la mobilité du sol est en rapport immédiat avec l'activité volcanique; tous les grands tremblements de terre ont eu lieu au voisinage des volcans et sont en liaison directe avec leurs éruptions. On sait que d'une manière générale il peut y avoir des séismes indépendants du volcanisme; c'est le cas pour ceux de Caracas et de Cumana, sur la côte de l'Amérique du Sud; ceux-là dépendent d'actions tectoniques, que j'essayerai plus loin d'analyser. Mais dans l'Amérique centrale, l'influence volcanique domine certainement toute la question, et c'est elle qu'il faut d'abord étudier (1).

DISTRIBUTION DES VOLCANS

Alignements en échelons. — En suivant la côte de l'Océan Pacifique à partir du Nord, on rencontre dans le Mexique une première rangée de volcans, qui suit d'abord la chaîne côtière, puis tourne à l'Est (Popocatepel, Orizaba, volcan de Tuxtla). Au Guatemala, la chaîne côtière, avec ses sédiments plissés, tourne aussi à l'Est, pour aboutir au golfe Amatique (golfe du Honduras); sur son versant Sud s'élève la rangée de volcans du Guatemala, qui semble ne pas suivre l'inflexion de la chaîne, et se prolonge le long du Pacifique jusqu'à Costa-Rica, sur une longueur totale de 1.200 kilomètres.

(1) Certains séismes locaux dans l'Amérique centrale, et particulièrement dans le Guatemala, pourraient, d'après M. Sapper, être dus à l'effondrement de cavités souterraines. Mais ce sont là des phénomènes très secondaires et sans importance.

Les principaux documents utilisés dans cette étude sont : les travaux de M. Sapper et le mémoire de M. de Montessus de Ballore (tremblements de terre et éruptions volcaniques au Centre Amérique, mémoires de la Société de Saône-et-Loire, Dijon, 1888).

En regardant de plus près, on voit que cette série ne forme pas une rangée unique, mais se décompose en plusieurs autres (voir la carte, pl. 4). Il y a bien nettement quatre tronçons distincts, disposés en échelons, chacun d'eux étant en retrait par rapport à celui qui le précède à l'Ouest; ce sont les tronçons du Guatemala, de San Salvador, de Nicaragua et de Costa-Rica; peut-être même le Tacana et le Tajumulco au Nord, le Chiriqui au Sud, indiquent-ils l'existence de deux autres tronçons moins importants. En tout cas, l'activité volcanique s'arrête avec le Chiriqui (dernière éruption au xvi^e siècle); pour en retrouver des manifestations récentes, il faut aller jusqu'aux petites Antilles ou aux Andes Colombiennes (Tolima), à 2.400 kilomètres à l'Est ou à 1.200 kilomètres au Sud-Est.

Les décrochements de la série volcanique correspondent à des lignes de mobilité exceptionnelle. — Chacun des points où il y a ainsi brisure de la ligne volcanique, où un tronçon succède au tronçon voisin, est, d'une manière bien intéressante, marqué par l'existence d'un lac ou d'une dépression équivalente. La série du Guatemala va se terminer au lac de Pacaya, celle de San Salvador à la baie de Fonseca; celle du Nicaragua se termine vers le milieu du lac de Nicaragua; celle de Costa-Rica se termine par les bassins de Cartago et de San José. Toutes ces dépressions sont incontestablement d'origine volcanique; elles accentuent la signification de la brisure correspondante de la chaîne, et elles soulignent en quelque sorte l'importance exceptionnelle des séismes ou des éruptions qui ont eu lieu suivant ces lignes: le décrochement du Guatemala est dominé par le Fuego, le volcan le plus actif du pays (57 éruptions connues jusqu'en 1880), et c'est la ligne de prédilection des grands tremblements de terre, qui ont jusqu'à cinq fois complètement détruit la ville de Guatemala; la baie de Fonseca est entourée de volcans, et c'est sur ses bords qu'a eu lieu, en 1835, l'éruption du Coseguina, la plus grandiose du siècle avec celle du Krakatoa. La ligne du Nicaragua a vu l'activité se réveiller en 1883 par l'éruption de l'Omotepe (1); et enfin les bassins de Cartago et de San José, à Costa-Rica, aux pieds du Turrialba, sont célèbres par la fréquence et par la violence de leurs séismes.

Il existe donc une homologie frappante entre ces quatre lignes de brisure de la chaîne; à chacune d'elles il y a décrochement de la rangée volcanique; à chacune d'elles il existe un large bassin d'affaissement; à chacune d'elles il y a recrudescence des phénomènes éruptifs ou séismiques. Ce sont évidemment là les emplacements de quatre fractures transversales, et l'expérience acquise pour trois d'entre elles au moins, montre que ce sont des lignes de plus grande mobilité, des lignes particulièrement dangereuses. Il est tout naturel qu'à ces lignes de fracture correspondent des brèches, achevées ou ébauchées, dans la barrière montagneuse; c'est ainsi que la première et la dernière sont

(1) Fuchs (Tsch. Mittheil, t. vi, 1885, p. 189) dit à propos de cette éruption: « *Le foyer principal d'activité volcanique dans le Nicaragua a toujours été le lac de Nicaragua.* » D'après lui, en juin 1883, la lave sortit de plusieurs bouches et couvrit toute l'île, qui, en août, ressemblait à un vaste amas incandescent, et serait depuis lors devenue inhabitable.

les voies de pénétration des chemins de fer de Guatemala et de San José; la seconde, celle de Fonseca, fait pénétrer les eaux de l'Océan au delà de la chaîne côtière; la troisième, celle de Nicaragua, a déterminé le seuil le plus bas entre les deux Océans. *C'est l'activité volcanique qui a entr'ouvert la voie pour le percement du canal*; il est à craindre que ce ne soit là un auxiliaire singulièrement redoutable.

Rôle des fentes transversales. — Il importe de serrer de plus près la question et de voir si d'autres exemples confirment ce rôle attribué aux fentes transversales. Celles que nous avons examinées sont les plus importantes, mais ne sont pas les seules. Au milieu de chacun des trois premiers tronçons, celui de Guatemala, celui de San Salvador et celui de Nicaragua, il y a l'indication d'un décrochement de même nature, mais beaucoup moins accusé (voir la carte). Ces décrochements ne produisent pas, comme les précédents, une interruption complète de la chaîne volcanique; ils n'ouvrent pas une brèche, ils déterminent seulement une légère déviation dans la ligne des sommets; et, comme cette ligne n'est pas rigoureusement une ligne droite, la déviation se remarquerait à peine, si, elle aussi, elle n'était soulignée par la présence d'un lac volcanique: le lac d'Atitlan dans le Guatemala, celui d'Ilopango dans le San Salvador, celui de Managua dans le Nicaragua, marquent la place de ces nouvelles fentes transversales; et là encore, on trouve qu'après de ces lacs l'activité volcanique prend une intensité spéciale: le lac d'Atitlan est aux pieds du volcan du même nom, qui, après le Fuego, est le plus actif et même le seul vraiment actif du Guatemala. Le lac d'Ilopango est situé entre deux volcans actifs, le San Salvador et le San Vicente, et un nouveau volcan s'est formé en son milieu en 1880; il se trouve sur une ligne séismique importante, qui a amené dix fois, depuis le xvi^e siècle, la destruction complète de la ville de San Salvador. Enfin le lac de Managua est au pied du célèbre Momotombo, et l'île centrale, le Nindirí, semble avoir eu des éruptions importantes, avec des tremblements de terre, en 1775, 1856 et 1858. Il y a dans ces exemples une confirmation bien nette du rôle des fractures transversales.

Il y en a une autre, plus frappante encore, c'est la disposition fréquente des volcans en séries transversales à la rangée principale (voir la carte); quand il n'y a qu'un volcan, les bouches successives s'alignent suivant une loi semblable. On est donc en présence de trois catégories de fractures: les unes, que j'appellerai fractures de 3^e ordre, déterminent, par leur rencontre avec la rangée côtière, l'emplacement des principaux volcans; les secondes, ou fractures de 2^e ordre, sont un peu plus marquées; elles donnent lieu à l'existence de lacs volcaniques, en même temps qu'à un léger décrochement, auquel correspond une recrudescence de l'activité souterraine; enfin il y a quatre fractures de premier ordre, le long desquelles s'exagèrent les effets précédents, qui produisent de véritables interruptions dans la chaîne, et celles-là marquent les emplacements de plus grande instabilité.

DÉPLACEMENTS DE L'ACTIVITÉ VOLCANIQUE

Déplacements des bouches d'éruption. — A côté de ces résultats, qui me semblent difficilement contestables, l'étude statistique des éruptions et des séismes mène aussi à des conclusions intéressantes, qui ne présentent pourtant pas le même degré de certitude. L'activité volcanique semble se déplacer, *et se déplacer dans un sens déterminé*. Il ne s'agit pas, bien entendu, d'une loi géométrique ni d'une progression continue, mais d'une tendance qui ressort d'une série de constatations et de données tout à fait indépendantes.

D'abord, comme je l'ai déjà dit, on a constaté dans le Guatemala et le San Salvador plusieurs déplacements des bouches volcaniques, et ces déplacements ont toujours lieu vers le Pacifique. Je ne puis mieux faire à ce sujet que de citer M. Suess (1) :

« Sur toute la ligne qui, de la baie de Fonseca, va au Sud-Est vers le Chiriqui et « au Nord-Ouest jusqu'à la frontière du Mexique, le même phénomène se reproduit « constamment : ou bien les volcans se trouvent sur des axes transversaux indépen- « dants, croisant à angle droit ou à angle aigu l'alignement principal ; ou bien, s'ils « sont isolés, leur cratère a une tendance à se déplacer transversalement à l'alignement « principal. *Il semble de plus que ce déplacement, sauf pour le Cerro Quemado, dans le « groupe de Quezaltenango à l'extrémité Nord-Ouest, se fasse toujours dans la direction « de l'Océan Pacifique.*

« Ce déplacement est assez rapide, et déjà, depuis un siècle, quelques nouveaux « cratères se sont ouverts dans cette direction, indépendamment des nombreuses « secousses du sol et des éruptions provenant des bouches existantes, qui révèlent les « mouvements, pour ainsi dire ininterrompus, de l'écorce terrestre dans ces régions. »

Déplacements du maximum d'activité. — Ce déplacement, en quelque sorte local, paraît coïncider avec un déplacement d'ensemble d'un tronçon à un autre, du Nord-Ouest au Sud-Est. Si l'on compte les volcans actifs depuis la conquête espagnole, on en trouve 7 au Guatemala, 8 au San Salvador, 8 au Nicaragua, 4 au Costa-Rica. Mais ceux du Guatemala sont en décroissance marquée ; le Cerro Quemado a eu sa dernière éruption en 1785, le Pacaya en 1775 (Wagner en a trouvé le cratère en 1854 recouvert d'une riche végétation). Le Suchitan, qui, quoique éloigné à l'Est, appartient à la même rangée, est éteint depuis 1469. Depuis 1852, le Fuego seul a eu des éruptions. Dans la rangée de San Salvador, au contraire, deux volcans nouveaux ont pris naissance, l'Izalco (2) en 1770 et le volcan du lac d'Ilopango, en 1880 ; de même au Nicaragua, le volcan Las Pilas date de 1850, et deux nouveaux cratères se sont formés au

(1) La Face de la Terre (*das Antlitz der Erde*), traduction française, vol. I, p. 22.

(2) L'Izalco n'a eu d'accroissement sensible que depuis 1802, mais depuis cette époque, dans ses éruptions répétées, il a rejeté plus de 27 millions de mètres cubes, soit une moyenne de 30 à 40.000 mètres cubes par an.

Nord en 1867. En revanche, dans ces deux États, on ne cite pas d'extinction récente; le San Salvador seul est indiqué comme ayant eu sa dernière éruption en 1659, mais un nouveau cône, le Queltzapeque, s'est formé à ses pieds en 1806 et un de ses cratères fumait en 1876.

Si l'on compte les éruptions, on en trouve 57 pour le Guatemala (dont 39 il est vrai pour le seul Fuego), 38 pour le San Salvador et 31 pour le Nicaragua; tandis qu'en se bornant au xix^e siècle, jusqu'en 1885, on en trouve 15 pour le Guatemala, 26 pour le San Salvador et 18 pour le Nicaragua.

Si l'on compte les tremblements de terre, en négligeant naturellement les petites secousses, dont le nombre dépend trop du soin des observations, on trouve :

Pour Guatemala, 59 grands tremblements, dont 32 destructeurs.

Pour San Salvador, 52 grands tremblements, dont 23 destructeurs.

Pour Nicaragua, 21 grands tremblements, dont 10 destructeurs.

Pour Costa-Rica, 20 grands tremblements, dont 6 destructeurs.

Je rappelle que cette statistique ne va que jusqu'en 1885, et qu'elle repose sur les données très patiemment recueillies et très sérieusement discutées du livre de M. de Montessus de Bellore. Il convient d'ajouter que pour le Nicaragua, les renseignements sont très incomplets (1) et que pour Costa-Rica, ils se bornent à peu près aux cent dernières années.

Si l'on fait maintenant la même statistique, seulement pour le xix^e siècle, on trouve :

Pour Guatemala, 29 grands tremblements, dont 8 destructeurs.

Pour San Salvador, 41 grands tremblements, dont 16 destructeurs.

Pour Nicaragua, 16 grands tremblements, dont 6 destructeurs.

Pour Costa-Rica, 19 grands tremblements, dont 5 destructeurs.

La marche des phénomènes est toujours marquée dans le même sens. Il faut observer que, si les données sont incomplètes pour le Nicaragua, elles le sont beaucoup moins et sont absolument comparables pour Guatemala et San Salvador; et que la décroissance de la proportion relative au Guatemala ne peut pas s'expliquer par des lacunes d'observations, puisque à Guatemala seulement, il y a un observatoire chargé de centraliser les données relatives à ces phénomènes.

Ainsi, qu'il s'agisse du nombre de volcans en activité, de la liste de ceux qui s'éteignent ou qui ont récemment pris naissance, du nombre des éruptions ou du nombre des tremblements de terre, le résultat est le même; en peu de siècles, depuis la conquête espagnole, la prépondérance a passé du Guatemala au San Salvador; et pour le Nicaragua, la différence avec les Etats précédents s'atténue. Si l'on ajoute qu'au Mexique l'activité volcanique s'est énormément affaiblie depuis la période quaternaire, qu'aux périodes précédentes elle avait son maximum bien plus au Nord, sur les côtes des Etats-

(1) M. de Montessus (*Mémoires de la Société Alzate*, 1898), compte en tout : 1,181 séismes pour le San Salvador, 768 pour le Guatemala et 549 pour Costa-Rica. Il ajoute que pour le Nicaragua les données sont trop incomplètes pour donner des nombres comparables.

Unis d'Amérique, on ne peut s'empêcher d'être plus fortement frappé de la signification des nombres précédents; nous assistons à la marche visible d'un phénomène géologique, dont l'évolution se poursuit, peut-être avec intermittences et oscillations, mais toujours dans le même sens, depuis des milliers de siècles.

Echelonnement du rôle des grandes fentes transversales. — Si l'on se reporte maintenant aux lignes de décrochement, aux quatre lignes de faiblesse maximum dont nous avons parlé plus haut, il semble qu'on trouve, dans les actions qui se manifestent à leur voisinage, la même progression, le même échelonnement du Nord-Ouest vers le Sud-Est. La fracture transversale de Guatemala n'a plus à son voisinage qu'un volcan actif, le Fuego; c'est une ligne séismique d'intensité décroissante; son lac n'a presque plus l'apparence volcanique; c'est un foyer en voie d'extinction. Fonseca, avec sa ceinture de volcans actifs, a eu sa grande catastrophe en 1835; que cette catastrophe doive ou non être la dernière, c'est un foyer en pleine activité. Le lac de Nicaragua est aussi un foyer actif; c'est peut-être, comme le dit Fuchs, le foyer principal dans le Nicaragua; mais, si violente qu'elle ait été, l'éruption de 1883, comparée à celle du Coseguina, n'est qu'une éruption avortée. C'est un avertissement; la catastrophe est encore à venir. Enfin Cartago et San José, à Costa-Rica, avec leurs bassins d'affaissement ébauchés, seraient encore dans une phase préparatoire.

On peut trouver qu'il y a là un peu d'arrangement et d'interprétation; mais cette interprétation groupe rationnellement les faits observés et est bien d'accord avec l'allure générale des phénomènes. Il ne serait pas raisonnable d'en faire une certitude; il le serait moins encore de ne pas y voir un sujet de crainte pour l'avenir.

Conclusions relatives à Nicaragua. — On voit qu'il s'agit, pour le tracé de Nicaragua, de bien autre chose que de la notion vague des dangers qui peuvent être liés à une région volcanique; il s'agit de menaces précises et peut-être prochaines. La ligne de Nicaragua est une des lignes de faiblesse et de mobilité de l'Amérique Centrale; l'abaissement du seuil n'est dû qu'à une fracture volcanique transversale; la même cause qui crée pour le passage une facilité apparente, crée aussi pour lui un danger permanent. Ce qui s'est passé sur l'emplacement *homologue* de Fonseca, précise la nature de ce danger; on doit prévoir et redouter une catastrophe de même ordre que celle du Coseguina, non pas sans doute comme une conséquence nécessaire, mais comme une conséquence possible des faits indiqués plus haut, non pas à une échéance déterminée, mais à une échéance qui peut n'être pas très lointaine.

On peut dire, il est vrai, que la catastrophe du Coseguina n'a pas amené de désastres proportionnels à sa violence; elle a fait la nuit sur toute la région pendant deux jours complets; elle a couvert de cendres un cercle de 3.000 kilomètres de diamètre; elle a comblé les ravins et encombré les ports de débris jusque dans le Guatemala; les rochers projetés ont élevé dans la mer un promontoire nouveau et deux îlots de 160 et de 650 mètres de diamètre. Cependant les destructions se sont bornées à quelques fermes

au pied du volcan. Les travaux d'un canal ou d'un chemin de fer voisin, s'ils avaient été solidement exécutés, auraient eu chance de résister.

Mais le type de la catastrophe du Coseguina n'est pas un type unique ni nécessaire ; il n'y a pas eu de grands tremblements de terre, il n'y a pas eu de vague séismique, et là sont les deux dangers les plus redoutables.

L'effet possible des tremblements de terre est difficile à apprécier. Je crois que la formule la plus acceptable est la suivante : qu'ils produisent d'une manière immédiate les effets qu'amèneraient, dans un temps plus ou moins long, les dégradations lentes des forces ordinaires. Des barrages en maçonnerie, solidement fondés et bien construits, auraient donc relativement peu à craindre. Il n'en serait pas de même, je crois, pour les hauts barrages en terre que prévoient tous les projets. La moindre malfaçon, la moindre instabilité ou le moindre tassement de la base, faciliteront la création de fissures dont l'effet pourra être irréparable. Dans une grande masse de terre meuble et argileuse, les vibrations s'amortissent il est vrai assez vite, mais elles s'amortissent en augmentant d'amplitude, et il n'y a pour ainsi dire pas de milieu entre l'innocuité complète due à la courte durée des vibrations ou l'exagération des dégâts due à leur amplitude.

Mais ce qui peut être plus désastreux que les secousses de tremblements de terre, ce sont les vagues séismiques. Celle qu'a produite l'éruption du Krakatoa s'est élevée à 22 mètres à Sumatra, à 36 mètres sur la côte de Java, et les exemples semblables ne sont pas rares. Aucune protection ne serait possible contre de pareils phénomènes. Dans l'Amérique Centrale, je ne connais qu'un exemple de vague séismique, celle du tremblement de terre du 4 août 1856, qui a amené la ruine d'Omoa sur la côte de Honduras ; mais il n'y a aucune raison pour qu'il ne s'en produise pas d'autres. Dans les lacs de la rangée volcanique, il y a déjà eu des exemples précurseurs ; pendant le séisme de mai 1844, qui détruisit la ville de Rivas, les eaux du lac Nicaragua s'élevaient et descendaient avec de fortes secousses qui causèrent d'immenses dégâts sur les rives (1). Dans le lac d'Ilopango, avant l'éruption de 1880, les eaux montèrent de 1^m20, et il en résulta des ravages terribles tout le long de la vallée qui sert d'émissaire au lac (2). Ce ne sont là que des indications très réduites des mouvements qu'un violent ébranlement séismique pourrait produire dans les eaux du lac, et auxquels rien ne résisterait.

La rupture des digues ou des barrages du canal une fois construit, serait un désastre tellement effroyable qu'il y a là une considération qui me paraît primer toutes les autres. On peut, comme je l'ai dit, contester la valeur des indices qui semblent montrer l'onde volcanique en marche vers le Nicaragua. S'il s'agissait d'une œuvre provisoire, on pourrait à la rigueur, même en les admettant, compter sur la lenteur de cette marche et sur les intermittences de la mobilité du sol. Mais, quand il s'agit d'une œuvre qui doit durer, ce serait au moins une grave imprudence de se mettre en lutte

(1) Williams, dans son travail sur le chemin de fer de Tehuantepec (N.Y. 1832), parle de ces dénivellations pour montrer la plus grande stabilité du sol de l'Isthme mexicain, et conclut par suite à la construction du chemin de fer comme de beaucoup préférable au canal des lacs.

(2) Après l'éruption, la profondeur du lac avait diminué de 100 mètres.

avec ces forces internes qu'on sait être à l'œuvre, et contre lesquelles on se sait impuissant.

ISTHME DE PANAMA

A Panama, l'activité volcanique est éteinte depuis la fin du Miocène. — A Panama et dans toute la région comprise entre le Chiriqui et le Tolima, il n'y a pas de volcans récents ; c'est une région de calmes entre les deux Amériques. A Panama, les dernières éruptions datent de la fin du Miocène. Elles consistent en pitons et en tufs trachytiques, et en vastes coulées andésitiques, dont les débris respectés par l'érosion forment la ligne de faite actuelle.

L'abaissement des seuils à Panama est dû, non pas à une fracture transversale, mais à une moindre action des forces qui ont fait surgir l'Isthme. L'Isthme est formé par une voûte très surbaissée, montrant au centre des coulées et des brèches oligocènes (Nummulites et Orbitoïdes près de Bohio), sur lesquelles s'appuie de part et d'autre, avec une faible inclinaison, la série des couches aquitaniennes et miocènes (1). Les éruptions, la plupart sous-marines, ont continué d'une manière intermittente jusqu'à la fin du Miocène ; puis est venu, avant le Pliocène, le soulèvement qui a formé l'anticlinal central de l'Isthme. Cet anticlinal est plus fortement accusé au Nord-Ouest et au Sud-Est, il marque alors plus fortement son empreinte dans le relief. C'est là la seule cause de la trouée naturelle de Panama.

Tremblements de terre-de Panama. — Il y a pourtant des tremblements de terre à Panama ; mais ce ne sont, en général, que de faibles secousses. Un seul, celui de 1624, aurait produit des effets désastreux et détruit presque toutes les maisons de Panama (2). Les autres séismes constatés sont de l'ordre de ceux dont je n'ai pas tenu compte dans les statistiques précédentes. M. de Montessus a pu dresser une liste complète pour les années 1882, 1883 et 1884, où les premiers travaux du canal ont suscité des observations plus détaillées : il compte pour ces trois années douze secousses. Or M. Sapper, en 1895 et en 1896 (*Zeitschr. deutsch. Ges.*, t. 49, p. 202) a constaté 74 secousses à Quetzaltenango, dans le Guatemala. La proportion, pour Panama, est donc encore très faible.

Il n'en est pas moins vrai qu'il peut y avoir là un avertissement, dont il importe d'examiner la valeur. Or, si l'on étudie avec soin la liste des séismes, on voit que deux d'entre eux, les plus importants, celui du 7 septembre 1882, et celui de mars 1883, ont coïncidé avec de forts tremblements de terre dans l'Atrato, à Sucio, à 80 kilomètres de l'Atlantique et près de la côte du golfe d'Urraba. D'autres (1723, 1822, 1854) ont coïncidé avec de forts tremblements de terre à Cartago, dans le Costa-Rica. La secousse du

(1) Voir le rapport géologique.

(2) M. de Montessus met même en doute, d'après la discussion des anciens textes, la réalité de ce séisme. Il croit à un incendie qui se serait propagé des faubourgs dans la ville en pierre.

29 novembre 1883 a même une origine plus lointaine ; elle a exactement coïncidé avec un tremblement de 25 secondes, ressenti à San Salvador. Pour toute cette première catégorie, il ne peut y avoir de doute : les mouvements constatés dans l'Isthme ne sont que l'écho affaibli de phénomènes lointains (plus de 300 kilomètres), et dans le cas de retour d'effets semblables, on sera toujours suffisamment garanti par la distance.

Quand il n'y a pas coïncidence constatée, et c'est le cas le plus fréquent, il faut chercher une autre cause. M. Sapper pense que, dans le Guatemala, certains séismes très localisés, *et plus fréquents après la saison des pluies*, peuvent être dus à l'écroulement de cavités souterraines ou à des glissements voisins de la surface. Il est possible qu'il en soit ainsi à Panama, et il y aurait là une seconde catégorie, également peu inquiétante.

L'important serait de savoir s'il reste une partie des séismes, qui soit attribuable à une cause générale susceptible de s'accroître, si quelque mouvement d'ensemble se prépare, qui puisse faire craindre pour la région un tremblement de terre tectonique. Il est clair qu'on entre ainsi dans des considérations un peu hypothétiques, que notre science des déformations de l'écorce est encore trop peu avancée pour y distinguer des lois et pour songer à prévoir même vaguement l'avenir. Pourtant, autour de la mer des Antilles, les traits structuraux me semblent se dessiner avec une telle netteté, que l'étude peut en présenter un certain intérêt.

Effondrement de la baie de Panama. — Parlons d'abord d'une première hypothèse émise par M. Suess, celle d'un effondrement progressif de la côte pacifique, les fentes transversales de la série volcanique correspondant à des fentes radiales du champ d'effondrement. Il est certain que les intercalations saumâtres dans les sédiments du versant pacifique de l'Isthme, ainsi que l'absence de tout dépôt du Miocène supérieur ou du Pliocène sur ce versant, plaident en faveur de l'existence d'un rivage autrefois rejeté plus loin au Sud-Ouest ; il est certain aussi que la baie de Panama, avec ses îles restées en saillie, a bien l'apparence d'une partie effondrée ; l'allure des courbes de niveau y rappelle plus la forme de vallées submergées que celle de lignes de plissement. Je crois donc qu'il y a eu en réalité effondrement, au moins pour la baie de Panama, mais je ne vois aucun indice que le phénomène se continue. Le trait essentiel de la structure de la côte pacifique, d'un bout à l'autre des deux Amériques, me semble être la substitution progressive, à la série des lignes de plissement, d'une ligne unique ou moyenne de volcans, qui suit tangentiellement chaque pli sur une certaine longueur, puis le quitte quand il s'infléchit vers l'Est. Si cette ligne de substitution doit encore s'accuser davantage, jusqu'à un raccordement des volcans des Andes avec ceux de l'Amérique centrale, le raccordement ne se fera pas par les petites Antilles ; la courbe de jonction possible (voir la carte, pl. 5) est déjà dépassée à Costa-Rica, et l'emplacement à prévoir ne peut guère différer de celui de la côte actuelle. D'ailleurs, si nous avons vu des exemples de formation récente de volcans, ils appartiennent tous à des séries anciennes, au moins pléistocènes, probablement pliocènes.

L'état de choses actuel correspond, dans son ensemble, à un équilibre qui ne s'est

pas modifié dans la période actuelle, et qui vraisemblablement ne cessera qu'avec elle. Cela ne veut pas dire qu'il n'y aura pas de nouveaux affaissements dans la baie de Panama, mais seulement que rien, au point de vue géologique, n'autorise à les prévoir.

Lignes structurales de la région et de la mer des Antilles. — On peut aller plus loin en considérant le réseau des lignes de plissement. Les courbes de niveau de la mer des Antilles (planche n° 5) dessinent un relief si bien marqué, qu'on peut y suivre sans ambiguïté les chaînes et les dépressions sous-marines, dans la continuation des chaînes et des dépressions du continent.

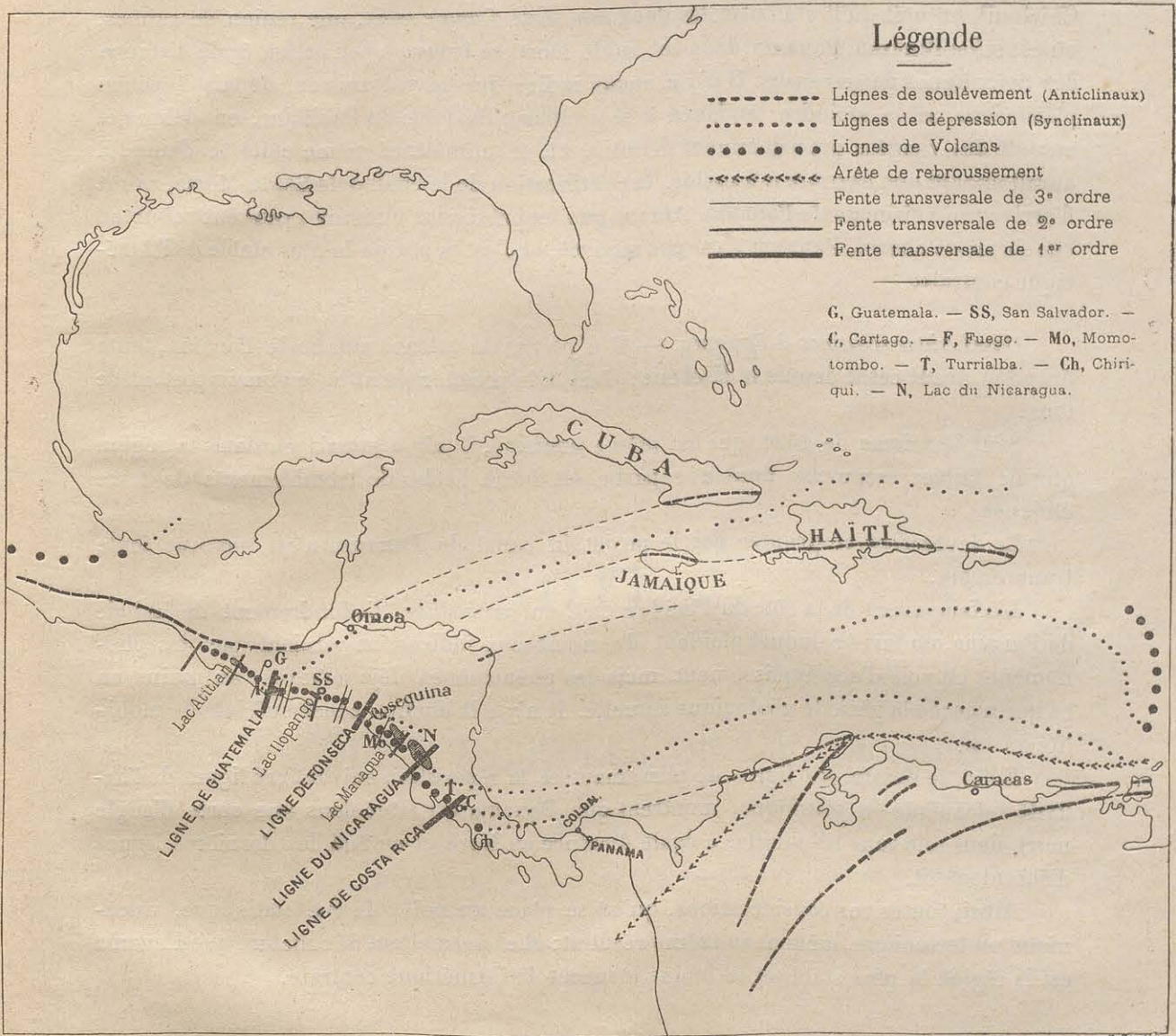
On voit d'abord, comme je l'ai déjà dit, la chaîne du Guatemala tourner vers la baie du Honduras, pour se diriger, par le banc Misteriosa et le groupe des Cayman, vers la Sierra Maestra, à la pointe Sud-Est de Cuba (1). Au Sud de la chaîne, la dépression qui correspond aux volcans du Guatemala se continue par la fosse Bartlett. La saillie du Honduras se prolonge par celles de la Jamaïque et d'Haïti; la dépression des volcans du Nicaragua va, avec celle de Costa-Rica, converger vers la fosse de Mosquitos, et la place des deux dépressions se retrouve au Nord et au Sud de la fosse de Curaçao. Enfin, sur la côte de la Colombie, la Sierra de Santa Marta, par son orientation, par la nature de ses roches, se rattache aux chaînes du Sud de Costa-Rica, et peut-être à la Cordillère San Blas.

Dans l'Amérique du Sud, le dessin est presque symétrique; les Andes proprement dites semblent monter droit vers le Nord; la chaîne de Perija commence à s'infléchir vers l'Est, et va se souder à Santa-Marta; les chaînons de Lara et de Falcon, la Sierra Merida et la chaîne Caraïbe accusent, de plus en plus, le même infléchissement, la dernière étant orientée Est-Ouest. Ainsi, les plis du Nord et ceux du Sud viennent successivement se ranger le long d'une ligne médiane, à peu près Est-Ouest, qui, entre la Sierra Perija et Santa-Marta présente le caractère d'une arête de rebroussement. *Cette ligne médiane est une ligne séismique*; c'est le long de cette ligne que se produisent les célèbres tremblements de terre de Caracas et de Cumana; c'est dans sa prolongation qu'a eu lieu l'ébranlement de l'Atrato mentionné plus haut (septembre 1882), accompagné, semble-t-il, de manifestations volcaniques; enfin, elle se dirige en mer vers le centre volcanique des Galapagos. Cette ligne ou arête de rebroussement est, au point de vue géologique, la véritable séparation de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud (2).

La carte ci-jointe et celle de la planche n° 5 montrent clairement cette disposition des lignes de plissement: l'inflexion presque symétrique des deux séries de plis, ceux de l'Amérique centrale et ceux de l'Amérique du Sud, et leur accollement successif contre une même arête médiane de rebroussement. Si l'on porte maintenant son attention sur les lignes volcaniques, on voit combien elles sont méthodiquement ordonnées au milieu de ce réseau. Chaque ligne de volcans est dans la prolongation d'une ligne de dépression,

(1) Suess, *La Face de la Terre*, chapitre des Antilles, p. 726.

(2) C'est sans aucun doute la prolongation de l'axe méditerranéen en Europe, entre l'Europe et l'Afrique.



d'un axe synclinal; mais, sauf pour les petites Antilles, l'activité volcanique ne se manifeste que dans la partie du synclinal qui longe l'Océan Pacifique; elle cesse quand le synclinal tourne vers l'Est. Par contre, l'activité séismique continue, quoique affaiblie, suivant les mêmes lignes : les grandes Antilles sont encore des régions à tremblements de terre.

Par suite de cette disposition imbriquée, l'activité volcanique et ses effets, directs ou indirects, cessent partout (sauf pour les Petites Antilles) à une notable distance de l'arête de rebroussement, qui par contre est elle-même une ligne séismique, avec tendance à devenir volcanique vers le Pacifique. Au-dessus de cette arête, la dernière rangée de volcans étant celle de Costa-Rica (en y comprenant la rangée encore hypothétique du

Chiriqui), on voit qu'il y a entre les deux *une sorte d'angle mort*, une région de calmes, où est situé Panama. Panama, dans cet angle mort, se trouve à peu près à égale distance des deux lignes dangereuses. Il n'y a aucun indice que le volcanisme, depuis l'époque pléistocène, ait la moindre tendance à se propager le long du Pacifique, en dehors et au delà des rangées précédemment décrites, et, en admettant même cette tendance, il aurait encore une barrière à franchir, la continuation de la chaîne de Santa-Marta, avant d'arriver au voisinage de Panama. Autant que les prévisions humaines peuvent valoir en ces sortes de choses, Panama n'est pas menacé, et c'est la région la plus stable de l'Amérique centrale.

Conclusions relatives à Panama. — Il n'y a pas de volcans autour de Panama, toute éruption ayant cessé depuis le Miocène; c'est là le premier point et le plus important de tous.

Sauf le séisme de 1621, qui est même contesté, il n'y a jamais eu dans la région que de faibles secousses, dont une partie est due à l'écho de tremblements de terre éloignés.

La dépression empruntée par le projet du canal de Panama n'est pas une fente transversale.

L'affaissement de la côte du Pacifique, et, en particulier, l'effondrement de la baie de Panama, en faveur duquel plaident de nombreux indices, ne seraient pas des phénomènes en voie d'accomplissement, mais des phénomènes déjà achevés, au moins en ce qui regarde la période géologique actuelle. Il n'y a là aucune cause spéciale de mobilité du sol.

Enfin, le dessin des lignes de plissement et la répartition suivant ces lignes de l'activité volcanique ou séismique, montrent que Panama est situé dans une sorte d'angle mort, dans une zone tranquille, à égale distance au Nord et au Sud des dernières lignes d'ébranlement.

Ainsi, toutes ces considérations, qu'on se place au point de vue statistique, volcanique ou tectonique, mènent au même résultat: elles permettent de conclure que Panama est la région la plus stable et la moins menacée de l'Amérique centrale.

Annexe III

NOTE

SUR

LES PRODUITS AGRICOLES DE LA COLOMBIE

PAR

M. PAUL ÉTIENNE, *Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées*

Note sur les produits agricoles de la Colombie

La production agricole de la Colombie n'a, avec l'ouverture d'un canal intérocéanique, que des rapports indirects : cependant la fécondité du sol influe sur les conditions de la vie et sur le prix de la main-d'œuvre, et quelques indications sommaires sur ce sujet ne paraissent pas sans intérêt, et aideront à faire connaître cette région.

La végétation, dans la province de Panama, est une des plus riches du monde ; les fruits y sont excellents et d'une abondance extrême. L'ensemble de la Colombie se prête aux cultures les plus variées. Dans les régions montagneuses, l'altitude modifie les effets de la latitude ; la capitale du pays, Bogota est située à une hauteur de 4,500 mètres au-dessus du niveau de la mer, de sorte qu'au point de vue agricole, le pays se présente sous les aspects les plus divers. Sur les plateaux, on cultive le froment, le maïs et la pomme de terre, sur les pentes des montagnes, le café, le tabac, le cacao, l'indigo, la canne à sucre, etc. Les procédés de culture sont encore peu perfectionnés : le Gouvernement espagnol pour éviter la concurrence que ses colonies auraient pu faire à la Métropole, défendait de planter la vigne, l'olivier, le chanvre, et les autres plantes industrielles de la Péninsule. Cependant des progrès importants ont été apportés à la culture de la Colombie dans ces dernières années, et sur les plus importants de ses produits agricoles, nous allons fournir quelques renseignements, que nous avons puisés, pour la plupart, dans l'intéressant travail sur la République de Colombie de MM. Ricardo-Nunez, et Henry Jalhay, qui font partie du corps consulaire colombien.

Le Café. — La culture du café en Colombie ne remonte guère qu'à une trentaine d'années : elle se fait principalement dans la vallée de Cucula, sur la frontière du Vénézuéla, à Ocana, sur les bords du bas Magdalena, à Bucaramanga, dans le département de Santander et sur les versants de la Cordillère qui descendent jusqu'au Magdalena.

Le café colombien passe pour un des meilleurs de l'Amérique du Sud, surtout celui dont la fève est petite ; le café de Popayan serait aussi parfumé que celui de Moka, c'est la culture la plus propre à recevoir de grands développements, et, d'après M. Camacho-Roldan, pour diverses raisons qui peuvent se résumer ainsi :

Le café peut être cultivé avec succès à des hauteurs variant de 1,200 à 1,800 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Cette plante n'est attaquée ni par les fourmis ni par les autres insectes qui infestent le tabac dans les pays chauds.

L'ombre du caféier s'oppose au développement des plantes secondaires, de sorte que l'entretien des plantations est des plus faciles.

Le caféier commence à produire dès la troisième année, et vit plus de vingt ans en donnant des produits.

La récolte se fait d'une manière continue, et n'oblige par conséquent pas à un recrutement d'ouvriers supplémentaires à de certaines époques.

Cette plante n'exige pas un terrain d'une qualité exceptionnelle : il lui suffit de rencontrer une grande profondeur de terre végétale.

La meilleure qualité de café est celle que produisent les régions tempérées.

Dans beaucoup de régions, on trouve le caféier à l'état sauvage, de sorte qu'on peut s'y procurer des plants prêts à produire.

Une surface de 64 ares environ, désignée sous le nom de fanegada peut contenir 2,000 plans de caféiers qui rapportent par an de 2,000 à 3,000 kilos de café.

Les quantités de café exportées de la Colombie, après avoir de 1866 à 1880, présenté une période d'accroissement, ont subi une décroissance rapide. Les frais de transport du lieu de production aux ports d'embarquement étaient considérables et s'élevaient parfois à 50 piastres par tonne : les cafés devaient sur des distances de 100 et même de 200 kilomètres, être transportés à dos de mulet, puis sur des chalands qui descendaient vers la mer.

Mais pendant ces dernières années, la production a pris un nouvel essor ; l'exportation qui était, en 1887, de 6,600 tonnes, en 1888 de 8,000 tonnes, a dépassé 21,000 tonnes en 1895.

La culture du caféier en Colombie s'est donc beaucoup développée ; le climat, l'abondance des terres propres à cette culture, la main-d'œuvre à bas prix, l'absence de maladies attaquant la plante, placent ce pays dans des conditions exceptionnelles, qui doivent, avec le Brésil où cette industrie est arrivée à son apogée, lui faire prendre le premier rang dans la production du café.

Le Tabac. — Le tabac est un des importants produits de l'industrie agricole colombienne. Après avoir été autrefois le principal article d'exportation, sa production diminua vers 1876 à la suite d'une maladie qui attaqua la plante dans le Tolima, qui était alors le centre de la culture du tabac, et sans doute du peu de soins apportés dans cette culture. Mais la production du tabac a repris pendant les dernières années un grand développement. L'exportation par Barranquilla, de 1,300 tonnes en 1896, s'est élevée à 2,270 tonnes en 1897. On en expédie en Allemagne des quantités qui vont en augmentant rapidement. L'importation par Brême, qui était, en 1894, de 4,450 tonnes, valant 925,600 marcs, a atteint, en 1897, 4,119 tonnes, correspondant à une valeur de 3,321,400 marcs.

La culture du tabac se pratique principalement à Ambalema, Carmen, dans le Santander, dans le Cauca, la Cienaga, la Magdalena. Sa qualité est telle qu'aucun autre ne le surpasse, à l'exception de celui de Cuba. Nous avons été à même d'apprécier un essai tenté sur les terrains du canal de Panama, et les cigares faits avec les feuilles de cette plantation étaient certainement des meilleurs.

Le Cacao. — Le cacao (cacao Theobroma) croit à l'état sauvage, et atteint souvent plus de 10 mètres de hauteur; il n'a alors de feuillage que près de la tête. Les arbres cultivés se couvrent de branches depuis le tronc.

Le fruit du cacao sylvestre est plus petit que celui du cacao cultivé, mais les épis en sont mieux fournis et ont plus de pulpe.

Les semences du cacao de Trinidad pèsent deux onces au plus, tandis qu'à la Sierra Nevada on en trouve qui en pèsent trois. Le choix des espèces plantées a la plus grande influence sur leur rendement et il semble que le cacao sylvestre donne, pour la culture de cet arbuste, les meilleurs plants.

Comme le caféier, le cacaotier est une culture sous couverture, c'est-à-dire que ces arbustes doivent être ombragés. On a souvent choisi, comme arbre protecteur, le bananier. Mais le voisinage de cette plante, après quelques années de plantation, est nuisible et il semble que le caoutchouc doive lui être préféré.

Les frais d'entretien des plantations de cacaotiers sont insignifiants, et on en retire de grands bénéfices. Un hectare peut recevoir 400 arbustes, rapportant en moyenne chaque année 667 grammes, à 2 fr. 40 le kilogramme, soit un produit brut de 640 francs.

Actuellement, le cacao n'est pas un produit d'exportation pour la Colombie; on évalue la production à 3.000 tonnes, à peu près la moitié de la consommation annuelle.

La Canne à sucre. — De même que le cacao, le sucre n'est plus un article d'exportation: il y a une vingtaine d'années, on en exportait environ 200.000 tonnes; mais sans doute comme conséquence du développement de la culture des plantes sucrières en Europe, cette source de produit a disparu, ou du moins tout le sucre récolté se consomme dans le pays même.

Et cependant le terrain aussi bien que le climat est favorable à la culture de la canne.

Les diverses variétés de cette plante y prospèrent également, la palpa, la créole, la paluda, la morada.

La palpa, appelée à l'île Bourbon Singapore, paraît être l'espèce la plus appréciée. Les soins à donner à la plante varient suivant le résultat cherché, sucre, cassonade (panela) ou simplement de la mélasse (miel). Une plantation de cannes peut, sans engrais, produire pendant 80 ans.

La Banane. — La culture de la banane en Colombie forme une des nouvelles branches de l'industrie agricole, et non une des moins précieuses.

L'exportation de ce fruit, pour le seul département de Panama a monté de 13.000 tonnes en 1891, à 23.500 tonnes en 1892, et 60.000 tonnes en 1893; de plus, la banane est une ressource précieuse pour l'alimentation des habitants qui en font un usage journalier. Voici, d'après une analyse faite par le professeur Winter Bleyth, de Londres, quelle serait la composition de la banane:

| | |
|-------------------|--------|
| Eau..... | 8.05 |
| Albumine..... | 4.45 |
| Amidon..... | 82.57 |
| Albuminoïdes..... | 2.28 |
| Graisse..... | 0.77 |
| Cendres..... | 1.88 |
| Total..... | 100.00 |

On prépare, en procédant à la dessiccation et à la mouture de la banane, une farine très nutritive, comparable à celle que donne le froment ou le maïs.

La culture de la banane est des plus productives. Sur une fanegada (64 ares), on plante 600 bananiers qui donnent chaque mois 100 régimes se vendant 50 centavos pièce, soit un produit brut mensuel de 50 piastres par fanegada.

L'Indigo. — L'indigo qui, en 1871, donnait un chiffre d'exportation de 600.000 piastres, n'est plus guère cultivé aujourd'hui.

Le Coton. — La Colombie produit du coton de bonne qualité; il y a une vingtaine d'années, l'exportation de ce produit, par suite surtout du peu de soins apportés à sa récolte, était tombée à un chiffre insignifiant; elle a repris une certaine activité, et en 1894, elle a dépassé 320.000 piastres, non compris 65.000 piastres de semences.

Quinquina. — Le quinquina existe en abondance dans les forêts de la Colombie; mais la difficulté des transports rend difficile l'exploitation de ce produit qui ne s'exporte qu'en quantité insignifiante.

Le Cocotier. — Le cocotier se cultive surtout dans la province de Bolivar; en 1891, l'exportation des noix de coco s'élevait à 4.419 tonnes correspondant à une valeur de 119.000 piastres.

La fabrication du beurre de coco a pris une certaine extension, et il serait facile de multiplier les plantations de cocotiers.

Le Caoutchouc. — La culture du caoutchouc est une de celles qui ont le plus d'avenir en Colombie. Les besoins que l'industrie moderne a de ce produit, dont les applications sont de plus en plus nombreuses, obligeront à en augmenter la production, et aucun pays ne se prête aussi bien que la Colombie à cette culture industrielle. On trouve dans ses forêts les espèces de caoutchoucs les plus diverses: le Castilloa, par exemple, que les Anglais ont introduit aux Indes est originaire du département de Panama.

Ce produit ne figure actuellement dans le tableau des exportations que pour 600.000 piastres.

Le caoutchouc s'accommode de tous les terrains, et ne redoute ni les plantes parasites,

ni les insectes : il n'a à craindre que la hache. La récolte consiste à recueillir le latex qui en se coagulant forme le caoutchouc, et qui s'écoule des incisions pratiquées dans l'écorce. L'arbuste commence à produire vers la quatrième année : vers la douzième, on compte qu'il donne un kilogramme de latex par an et le double, deux kilogrammes, à 50 ans.

Nous avons vu, à l'hôpital de Panama, des essais de culture faits sur des variétés d'Hévea qui sont en pleine voie de réussite. Le climat de la Colombie, où l'on trouve à l'état sauvage un grand nombre d'espèces de caoutchoucs, favorise le développement qui sera, sans aucun doute et dans un avenir prochain, donné à cette culture.

Elève du bétail. — C'est principalement dans les départements de Bolivar et du Magdalena que se fait l'élevage du bétail; le mouton vit sur les hauts plateaux. Certaines fermes ou ranchos, de la vallée du Cauca, comptent 20.000 têtes de bétail, et 500 chevaux ou mulets.

Produits forestiers. — La Colombie est en partie couverte de forêts vierges, où vivent côte à côte les essences les plus diverses, et où on trouverait les bois propres à tous les usages, aussi bien à l'ébénisterie qu'à la charpente. Citons seulement les essences principales : Le Roble Panama (chêne de Panama), le Roble americano, le Cedro amargo, le Cedro espino, le Nispero, le Laurel, le Caoba (acajou), l'amarillo Guayaquil, le Quira, le Zorro, le Gorgojo, le Frijolillo, le Yaya, etc.

Ces forêts sont inexploitées : l'absence de voies de communication oblige à laisser dormir ces immenses richesses. Ce sont des réserves pour l'avenir.

Résumé. — Nous n'avons eu pour objet, dans la présente notice, que de montrer combien l'agriculture présente de ressources dans cette région. Sans doute, pour quelques branches de cette industrie, l'outillage défectueux des agriculteurs, et surtout l'absence de moyens de transport ont rendu impossible la lutte avec la concurrence étrangère. Mais la nature a donné à cette contrée les conditions les plus favorables à la production de tout ce que les Européens vont à grand prix chercher dans les pays intertropicaux, et l'on peut prédire que, avec l'amélioration de l'outillage national, la Colombie verra se développer l'industrie agricole qui est sa véritable industrie.

L'ouverture d'un canal maritime de Panama à Colon hâterait certainement cette évolution.



PLAN GÉNÉRAL DU CANAL

AVEC INDICATION DU PROJET AVEC PLAFOND DU BIEF DE PARTAGE A LA COTE 20,75

Echelle de $\frac{1}{100000}$ 0^m001 pour 100^m00



Légende

- Tracé du Canal.
- Dérivations terminées.
- Dérivations non terminées.
- Tracé du Panama Rail Road.
- Déviation du Panama Rail Road.
- Rigole d'alimentation.
- Chemin de fer de Gamboa à Alhajuela.
- Immeubles appartenant à la Compagnie.
- Immeubles appartenant à des particuliers.
- Ligne des fonds de 11^m32

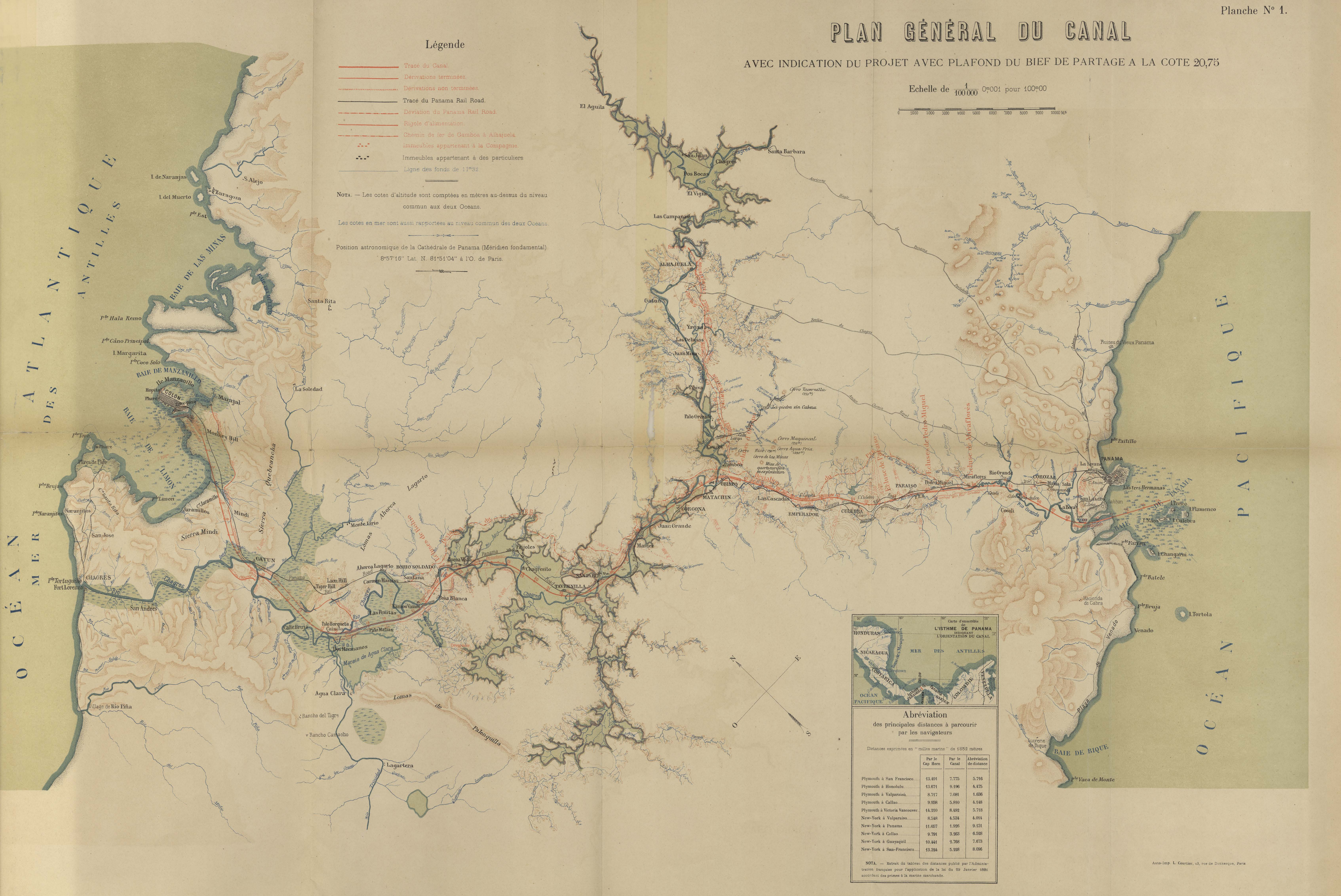
NOTA. — Les cotes d'altitude sont comptées en mètres au-dessus du niveau commun aux deux Océans.

Les cotes en mer sont aussi rapportées au niveau commun des deux Océans.

Position astronomique de la Cathédrale de Panama (Méridien fondamental)
8°57'16" Lat. N. 81°51'04" à l'O. de Paris.

Océan Atlantique

Océan Pacifique



Abréviation des principales distances à parcourir par les navigateurs

Distances exprimées en "milles marins" de 1853 mètres

| | Par le Cap Horn | Par le Canal | Abréviation de distance |
|------------------------------------|-----------------|--------------|-------------------------|
| Plymouth à San Francisco..... | 13.491 | 7.775 | 5.716 |
| Plymouth à Honolulu..... | 13.671 | 9.196 | 4.475 |
| Plymouth à Valparaiso..... | 8.717 | 7.081 | 1.636 |
| Plymouth à Callao..... | 9.958 | 5.810 | 4.148 |
| Plymouth à Victoria Vancouver..... | 14.210 | 8.492 | 5.718 |
| New-York à Valparaiso..... | 8.548 | 4.534 | 4.014 |
| New-York à Panama..... | 11.657 | 1.925 | 9.731 |
| New-York à Callao..... | 9.791 | 3.363 | 6.428 |
| New-York à Guayaquil..... | 10.441 | 2.768 | 7.673 |
| New-York à San-Francisco..... | 13.334 | 5.233 | 8.096 |

NOTA. — Extrait du tableau des distances publié par l'Administration française pour l'application de la loi du 29 Janvier 1884 accordant des primes à la marine marchande.







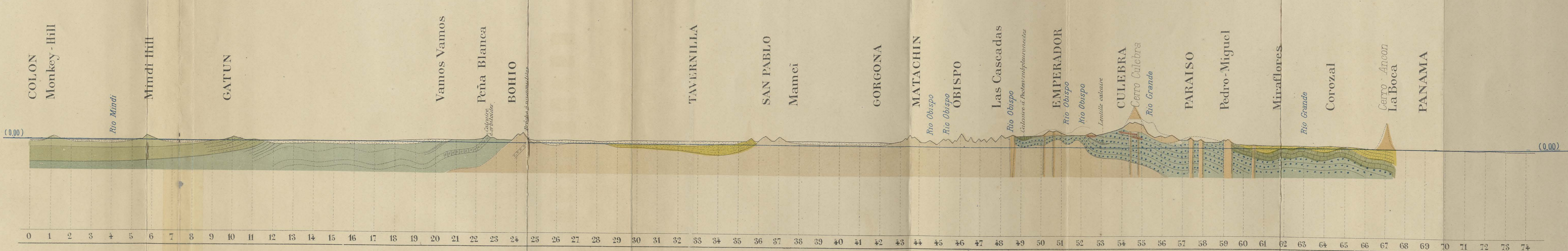
Légende

- Quaternaire Alluvions récentes et anciennes
- Miocène supérieur Andésites de la Culebra
- Trachytes du Mont Ancon
- Miocène inférieur Tufs trachytiques
- Argiles de Mindi
- Mollasse d'Alhajuela, couches de Gatun
- Calcaires à crinoïdes Grès et argiles de Vamos Vamos (Aquitainien marin)
- Aquitainien Tufs et grès de la Culebra (Aquitainien schisteux et lignitifère)
- Andésites aquitaniennes
- Tongrien Roche de Gamboa (Brèches et coulées)
- Argiles rouges superficielles

COUPE GÉOLOGIQUE

Échelles $\left\{ \begin{array}{l} \text{Longueurs } (\frac{1}{100,000}) \\ \text{Hauteurs } (\frac{1}{10,000}) \end{array} \right.$

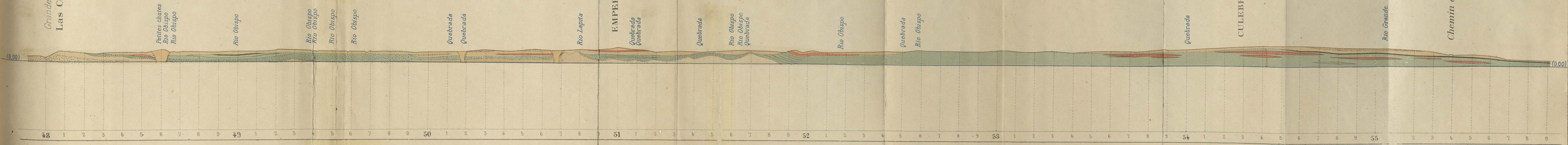
Nota. — Si la coupe était prise parallèlement plus à l'Est, elle rencontrerait au lieu des tufs trachytiques de la plaine de Tavernilla, les mollasses miocènes d'Alhajuela, couvrant le plateau en bancs horizontaux.



COUPE GÉOLOGIQUE DE LA GRANDE TRANCHÉE

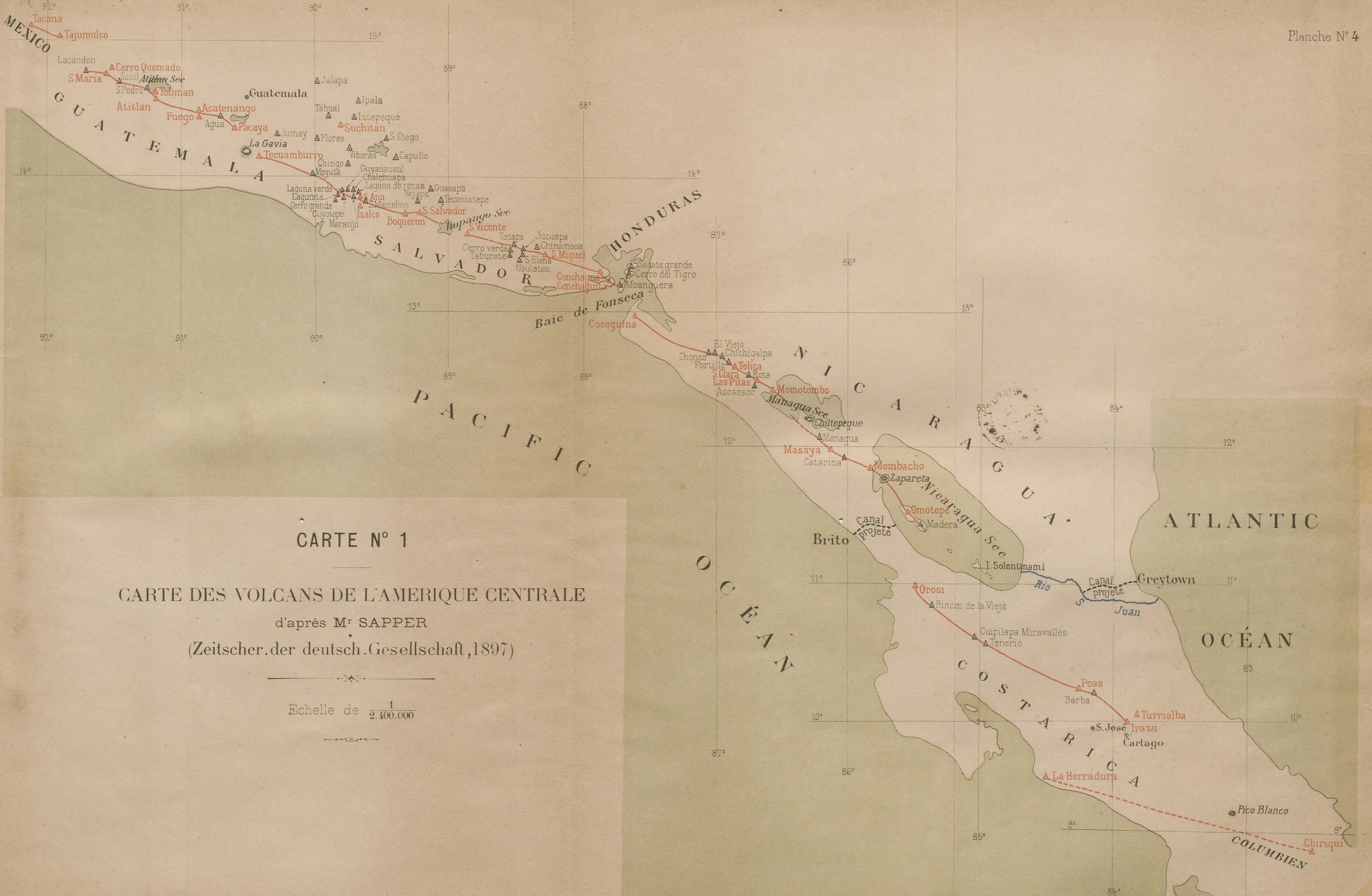
(Emperador et Culebra)

Échelle, Longueurs et Hauteurs $(\frac{1}{8,000})$



Chemin de fer P.R.R.





CARTE N° 1

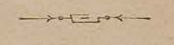
CARTE DES VOLCANS DE L'AMERIQUE CENTRALE

d'après M^r SAPPER

(Zeitscher. der deutsch. Gesellschaft, 1897)



Echelle de $\frac{1}{2.400.000}$







Légende

- Lignes de soulèvement (Anticlinaux)
- Lignes de dépression (Synclinaux)
- Lignes de Volcans
- ><----- Arête de rebroussement entre les plis de l'Amérique du Nord et ceux de l'Amérique du Sud.
- Courbes des Fonds

CARTE N° 2

LIGNES DE PLISSEMENT ET DE VOLCANS
de l'Amérique centrale



