



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000301635

x
2.707

PROJET D'ACHÈVEMENT
DU
CANAL DE PANAMA

Paris. — Imp. E. Bernard et C^{ie}, 71, rue Lacondamine.

PROJET D'ACHÈVEMENT

du

CANAL DE PANAMA

par

A. DUMAS

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

F. Her. 22 666



PARIS (1899).

E. BERNARD ET C^{ie}, IMPRIMEURS-ÉDITEURS

LIBRAIRIE

53^{ter}, Quai des Grands-Augustins

IMPRIMERIE

71, Rue La Condamine, 71

Droits de propriété et de traduction réservés.

*C. 46
1899*

X
2,707

AVERTISSEMENT

Avant d'aborder l'étude qui fait l'objet de la présente publication, nous croyons utile de déclarer que, bien qu'elle émane d'un ancien agent de la Compagnie du Canal interocéanique, actuellement au service de la liquidation, elle n'en est pas moins une œuvre absolument personnelle, conçue pendant les quelques loisirs que lui laissait son emploi de chef de section des travaux et élaborée au cours d'un congé que l'Administration a bien voulu lui accorder.

Un séjour de quatre ans et demi sur les chantiers du Canal de Panama nous a conduit à nous intéresser passionnément à ce travail gigantesque et c'est avec la plus vive émotion que nous avons assisté aux malheurs qui ont frappé cette malheureuse entreprise.

Étant donné le caractère en quelque sorte national que, malgré son éloignement, ce travail a revêtu, le désir de tous nos compatriotes doit être de le voir mener à bonne fin, autant pour sauvegarder l'épargne qui y est engagée, que pour relever le bon renom du génie français momentanément compromis. C'est pénétré de cette situation que nous nous sommes voué à cette œuvre grandiose et que nous avons appliqué nos faibles facultés à la recherche des conditions dans lesquelles elle pourrait être achevée.

Le projet publié par la Commission d'Etudes a heureusement tracé un programme général et limité le nombre de solutions dont le problème est susceptible, en indiquant les principales conditions obligatoires auxquelles elles doivent satisfaire. C'est d'ailleurs à la suite de la lecture des rapports de ladite Commission, que nous est venue l'idée mère du projet que nous avons l'honneur de soumettre à l'appréciation des personnes compétentes et, quoiqu'il soit basé sur un principe pour ainsi dire contraire à celui qu'Elle a cru devoir préconiser, il n'emprunte pas moins à ces rapports un grand nombre de leurs principales dispositions.

En publiant cette étude, nous tenons à bien affirmer, ne serait-ce que pour expliquer les imperfections qu'elle peut contenir, qu'elle a été conçue et élaborée sans le concours d'aucun agent de la Liquidation ou de l'ancienne Compagnie et que les documents sur lesquels elle repose, tels que plans à grande échelle, épures, métrés, etc., ont été préparés par nous seul pendant les moments de liberté que nous laissait notre service ou depuis que nous sommes en congé.

C'est seulement en arrivant à Paris que nous avons pris connaissance du rapport de M. Wyse et du projet d'achèvement du Canal, étudié par lui avec le concours de MM. Jacquemin et Sosa et d'une grande partie du personnel de la Liquidation dans l'isthme. Aussi pour éviter que l'on puisse croire que notre travail a un rapport quelconque avec celui de ces Messieurs, nous croyons-devoir déclarer qu'en aucune circonstance nous n'avons eu l'honneur de les voir.

Nous n'avons pu prendre connaissance des rapports de la Commission d'Etudes qu'en décembre dernier et ce n'est que quelque temps plus tard que nous avons eu l'idée d'étudier le projet qui fait l'objet de la présente publication, c'est-à-dire après que la mission Wyse dans l'isthme a été terminée. Nous ajouterons même que vers le 15 avril, environ un mois avant notre départ de Panama, ayant appris qu'il existait dans les bureaux techniques de la Compagnie, un plan de la zone d'inondation du projet de MM. Wyse, Jacquemin et Sosa, nous allâmes solliciter auprès de M. le Directeur des travaux, l'autorisation de prendre connaissance de ce document, ainsi que de quelques autres renseignements purement techniques, et que cette autorisation nous fut refusée dans des conditions qu'il est inutile de relater ici.

Ce n'est que grâce à l'obligeance de nos collègues que nous avons pu avoir connaissance, non pas des documents préparés par ou pour la mission Wyse, mais seulement de quelques études faites sur le terrain par les agents de la Liquidation, notamment dans les sections de Tavernilla et de Bohio-Soldado, et nous sommes heureux de saisir cette occasion pour remercier publiquement tous ceux qui ont bien voulu nous faire d'utiles communications et particulièrement MM. Bénard, Buso et Poitevin de Veyrière.

La publication de cette notice n'étant faite qu'après celle du rapport de M. Wyse, cette courte explication nous a paru nécessaire pour bien établir qu'en aucun cas, nous ne nous sommes servi du travail élaboré par la mission dont il était le chef, et que, si quelques chiffres de notre étude se rapprochent de ceux qui se trouvent dans ledit rapport, cela tient uniquement à ce qu'ils ont un point de départ commun : les dernières études faites sur le terrain par le personnel de la Liquidation.

Nous espérons que nos lecteurs ne voudront voir dans cette publication, que le désir qui nous anime de faire connaître une nouvelle solution, préférable à notre avis à toutes celles qui ont été indiquées jusqu'à ce jour, et peut-être de nature à ramener la confiance et servir de point de départ à la constitution d'une Société financière ayant pour but l'achèvement du Canal. Au point où en sont les choses, on ne saurait trop révéler les divers moyens à l'aide desquels il paraît possible de résoudre le grand problème qui intéresse un si grand nombre de nos compatriotes, et même l'humanité entière, et quelle que soit la valeur réelle de celui que nous avons l'honneur de décrire, on voudra bien reconnaître que notre seul but est de contribuer, dans la limite de nos faibles facultés, à la solution finale qui ne sera sans doute obtenue qu'en faisant un choix judicieux parmi les nombreuses idées que cette question a fait naître.

Paris, le 21 Juillet 1891.

A. DUMAS.

INTRODUCTION

Les conditions dans lesquelles l'ancienne Compagnie du canal Interocéanique a été dissoute et celles dans lesquelles se trouve actuellement la liquidation de ladite Société sont assez connues pour qu'il soit inutile de les rappeler ici.

On sait aussi que, à l'époque de la cessation des travaux, l'état d'avancement de ces travaux était peu connu du public en général et surtout fort controversé. Les partisans de l'œuvre prétendaient qu'elle était en grande partie terminée, tandis que ses adversaires soutenaient qu'elle était à peine ébauchée. De plus, les premiers affirmaient que le canal une fois ouvert, livrerait passage à un très grand nombre de navires, tandis que les seconds déclaraient que la plupart n'emprunteraient pas cette voie. Aussi, le premier soin du Liquidateur, après s'être assuré les ressources pécuniaires suffisantes, fut-il d'instituer une commission d'ingénieurs, chargée de l'éclairer sur la situation du canal, tant au point de vue de la dépense que nécessiterait son achèvement, que du trafic qu'il serait appelé à desservir.

Cette Commission était composée de :

MM. GUILLEMAIN, Inspecteur général, Directeur de l'École des Ponts et Chaussées, Président.

CHAPER, ingénieur civil des mines.

COUSIN, ingénieur des Ponts et Chaussées de Belgique, Professeur à l'Université de Louvain.

DAYMARD, ancien ingénieur de la marine, ingénieur en chef de la Compagnie générale Transatlantique.

DESCUBES DU CHATENET, ingénieur civil des mines.

GERMAIN, ingénieur hydrographe de la marine.

HOLTZ, ingénieur en chef, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées.

LAGOUT, ingénieur des Ponts et Chaussées.

NIVOIT, ingénieur en Chef des mines, Professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées, Secrétaire.

RENOUST DES ORGERIES, inspecteur général des Ponts et Chaussées, en retraite.

VON ZUYLEN, colonel-ingénieur, ancien chef de l'arme du génie de l'armée néerlandaise des Indes-Orientales.

Après avoir délégué dans l'isthme une sous-commission composée de MM. Germain, président; Chaper; Cousin; du Châtenet et Lagout, secrétaire; Elle remettait le 5 mai 1890 à M. Monchicourt, nommé

liquidateur le 8 mars de la même année en remplacement de M. Brunet, démissionnaire, un rapport d'ensemble et successivement divers rapports spéciaux.

Dans ce rapport et après avoir fait remarquer « *qu'il ne pouvait entrer dans sa pensée d'arrêter un projet définitif d'exécution et qu'elle se bornait à tracer un programme général, assez bien défini pour ne laisser place, suivant elle, à aucun mécompte grave et susceptible de servir de base, dès à présent, à une estimation sérieuse mais destiné à être complété ultérieurement par les études de détail qui devront précéder l'exécution et qui ne peuvent être utilement poursuivies que sur le terrain* ».

La Commission déclare :

1° Qu'il est possible d'achever un canal à écluses dans un délai de 8 ans et la solution qu'elle préconise consiste dans l'adoption d'un système de barrages formant une succession de lacs étagés et franchis au moyen d'écluses de 8 ou 11 mètres de chute.

2° Que le matériel qui se trouve actuellement dans l'isthme est en bon état et pourra suffire à l'achèvement du canal.

3° Que les travaux déjà exécutés et le matériel qui se trouve dans l'isthme peuvent être estimés à environ 450 millions de francs.

4° Que le montant total des travaux à exécuter peut être évalué à la somme de 580 millions.

5° Enfin, en évaluant à 10 % les frais d'administration dans l'isthme et à Paris, à 6 % l'intérêt à servir au capital pendant la période d'exécution des travaux et à 5 % les frais d'émission, elle estime à 900 millions le capital à demander à la fortune publique pour terminer le canal à écluses.

Elle ajoute en outre que ce canal doit être définitif et qu'il faut renoncer à l'espérance de continuer le creusement du canal à niveau pendant la période de mise en exploitation du canal à écluses.

Dans un rapport spécial elle examine d'ailleurs la question du canal à niveau et, après avoir reconnu que son exécution technique ne paraît pas impossible, elle évalue la durée des travaux à 20 ans et le capital nécessaire à trois milliards. Dans ces conditions, la question « *lui a paru dépasser les forces d'une tentative d'intérêt privé* » et elle estime que : « *on ne pourrait y penser que dans le cas où elle serait reprise, comme la Commission de 1879 en avait eu l'idée, sur les bases d'une entente générale et l'intervention de ce qu'on pourrait appeler un syndicat d'États.*

Il résulte de ce qui précède qu'il faut absolument renoncer à l'idée d'établir une communication directe entre les deux océans et qu'on est dans l'obligation d'employer une voie à niveau surélevé pour faire passer les navires de l'un dans l'autre.

Cette impossibilité de réunir les eaux des deux Océans provient

non seulement du cube énorme des terrassements qu'il y aurait lieu d'exécuter pour tailler une tranchée complète à travers la Cordillère, mais encore des difficultés qu'occasionnerait l'aménagement des eaux du Chagres.

Les deux grands obstacles que présente l'isthme de Panama à l'ouverture d'un canal sont en effet, d'une part, le percement d'une montagne (la Culebra) et d'autre part, la nécessité de se débarrasser des perturbations de la rivière torrentielle dont la voie navigable emprunte la vallée. Sur environ la moitié de son parcours le tracé du canal cotoie cette rivière, dont les sinuosités le coupent 28 fois dans un espace de 36 kilomètres, et on comprend facilement la gêne qu'apporteraient à la navigation des crues qui atteignent 10 mètres de hauteur, sans compter que les apports considérables amenés par ces crues dans la cuvette navigable occasionneraient des frais d'entretien très élevés. De là, l'obligation d'empêcher les eaux du Chagres de se mélanger avec celles du canal et par suite, de lui creuser un lit spécial se tenant toujours sur la même rive du canal ainsi qu'un autre lit destiné à recueillir les affluents de la rive opposée. C'est la combinaison adoptée par l'ancienne compagnie et qui consiste, en réalité, à creuser trois canaux au lieu d'un, et à construire un nombre très considérable de digues et de barrages. Les nombreux auteurs de projets d'achèvement du canal ne paraissent pas en général, s'être préoccupés beaucoup de cet adversaire et ils ont surtout dirigé leurs efforts contre la Culebra.

Ce dernier obstacle n'a, en effet, échappé à personne. Les uns ont voulu le franchir en en faisant faire l'ascension aux navires, soit en les plaçant sur de véritables chemins de fer, soit à l'aide d'ascenseurs hydrauliques, soit plus simplement avec des écluses; tandis que d'autres, conservant l'idée du canal à niveau, ont voulu l'entamer par un tunnel à section suffisante pour livrer passage à la navigation maritime. La Commission d'études instituée par le liquidateur et qui a été appelée à examiner ces différents projets ne les a pas jugés susceptibles d'être mis en pratique. Elle ne croit pas que dans l'état actuel de l'art de la construction, on puisse répondre du bon fonctionnement d'élévateurs ou de chemins de fer à navires, destinés à mettre en mouvement des masses atteignant 7 et 8.000 tonnes et même plus. Les appareils de ce genre actuellement employés à la manœuvre des bateaux de quelques centaines de tonnes, ne permettent pas de conclure qu'on pourrait en construire d'autres analogues fonctionnant sous des charges utiles 20 fois plus grandes.

En ce qui concerne le passage de la Culebra en tunnel « Elle est « d'avis qu'un tunnel satisfaisant aux conditions de l'acte de concession, serait un ouvrage dont les dimensions dépasseraient tellement « celles des travaux similaires entrepris jusqu'à présent, que nul ne

« pourrait affirmer qu'il est exécutable. En admettant qu'il le fût, la « dépense en serait excessive et l'avancement très lent. »

Après avoir longuement étudié la question et en s'appuyant sur les documents fournis par l'ancienne Compagnie et sur les observations recueillies dans l'isthme par la Délégation qu'elle y avait envoyée, la Commission propose un programme d'achèvement du canal à écluses dont les principaux traits sont les suivants :

1° L'établissement d'un bief supérieur alimenté directement par les eaux du Chagres, dont le plan d'eau serait élevé de 34^m,50 au dessus du niveau moyen des deux océans et qui serait compris entre des barrages fermant la vallée du Chagres à San Pablo et celle du Rio Grande à Paraiso. Ce bief de partage, outre la tranchée à travers le massif central, comprendrait une partie de la vallée du Chagres transformée ainsi en un lac d'environ 3.000 hectares de superficie, et servant à l'aménagement des eaux de cette rivière et l'amortissement de ses crues.

2° L'emploi d'écluses de 11 mètres de chute, à double sas et échelonnées deux à deux pour descendre du bief supérieur dans les deux océans, les intervalles entre ces échelles d'écluses étant formés par des lacs étagés de moins grande importance que le lac supérieur mais créés de la même manière, c'est-à-dire, par le barrage du Chagres à Bohio, d'une part, et par le barrage du Rio Grande à Pedro Miguel et à Miraflores d'autre part.

Il n'entre pas dans notre pensée de critiquer le travail si remarquable des ingénieurs éminents qui composaient la Commission d'Études mais nous croyons devoir faire remarquer que c'est à la faible surélévation du bief de partage et par suite à la tranchée encore considérable nécessitée pour la traversée de la Cordillère, qu'est dû le coût élevé qu'elle attribue à l'achèvement du canal. C'est en s'imposant la condition d'alimenter directement ce bief supérieur qu'elle est arrivée à ces conclusions et c'est précisément en nous affranchissant de cette même condition que nous avons pu placer le bief de partage à un niveau beaucoup plus élevé et par suite à réduire considérablement les terrassements de la Culebra.

Telle est la base du projet que nous avons l'honneur de présenter ici et qui, tout en réunissant, croyons-nous, toutes les qualités pratiques nécessaires pour une œuvre de ce genre a l'avantage de coûter environ 1/3 de moins que celui qui a été présenté par la Commission d'Études.

EXPOSÉ GÉNÉRAL

L'idée mère de ce projet, a été de placer le bief de partage aussi haut que possible, de façon à diminuer d'autant la profondeur de la tranchée qui doit traverser la Cordillère, et de pourvoir à l'alimentation de ce bief au moyen de machines élévatoires mises en mouvement par des moteurs hydrauliques actionnés par les eaux du Chagres. On arrive ainsi, et c'est ce résultat qui nous a séduit, à emprunter à l'un des deux grands obstacles que l'on a à vaincre, les moyens nécessaires pour surmonter l'autre.

Pour réaliser cette idée, nous avons admis un bief de partage situé en entier dans le massif central, dont le plan d'eau serait à une hauteur variant entre les côtes 49 et 52, et limité à chacune de ses extrémités, c'est-à-dire aux kilomètres 46 et 57 par une échelle de deux écluses de 11 mètres de chute, combinée avec des barrages fermant les vallées de l'Obispo et du Rio-Grande (').

L'échelle d'écluses située du côté de l'Atlantique donnerait accès à un grand lac comprenant toute la vallée du Chagres jusqu'à Bohio Soldado où serait établi le barrage destiné à fermer cette vallée et à créer la chute nécessaire pour mettre en mouvement les moteurs hydrauliques. De ce lac, dont le niveau serait susceptible de varier entre les côtes 30 et 33, on descendrait par une autre échelle de deux écluses de 11 mètres de chute, dans un bief dont le plan d'eau serait à la cote 11 et d'où, à l'aide d'une seule écluse de 11 mètres de chute, on passerait dans le bief maritime.

Du côté du Pacifique la descente se ferait aussi au moyen de trois groupes d'écluses de 11 mètres de chute accompagnés de barrages déterminant une succession de lacs étagés de même altitude que les écluses auxquelles ils se rapportent.

L'idée de lacs étagés étant admise par la plupart des auteurs de projets d'achèvement du Canal et consacrée pour ainsi dire par la Commission d'études qui a adopté ce système, la conception réellement neuve sur laquelle repose notre projet consiste dans le choix du mode d'alimentation du bief supérieur.

Nous démontrerons dans le chapitre consacré à cette étude que les dispositions adoptées évitent tous les inconvénients inhérents d'ordinaire à l'emploi des machines et nous nous bornerons à dire ici que, l'alimentation du bief de partage se fera par des pompes rota-

1. Voir planches I et II.

tives, établies au kil. 46.000, la force motrice nécessaire pour mettre ces pompes en mouvement étant fournie par des turbines actionnées par la chute créée par le barrage de Bohio, et étant transmise au lieu d'emploi par l'intermédiaire de l'électricité.

Cette application sur une aussi grande échelle du transport de la force à grande distance par l'électricité, dont l'idée est assez récente et n'a été avantageusement appliquée que depuis fort peu de temps, paraîtra peut être un peu téméraire, pour ne pas dire plus, aux esprits timorés peu partisans des innovations ou peu au courant des grandes installations d'électricité faites tout dernièrement ou actuellement en cours d'exécution. Quant à nous, nous croyons qu'elle peut résoudre de la façon la plus heureuse le problème qui nous occupe et nous avons la conviction que toutes les personnes compétentes seront de notre avis. Dans l'état actuel de la science le bon fonctionnement des machines dynamo-électriques ne peut faire concevoir aucun doute et leur sécurité est telle, qu'elles sont maintenant employées dans l'éclairage de la plupart des grandes villes et pour transmettre la force motrice à des outils très puissants et même à des usines entières. Il est bien certain que l'on ne se serait pas risqué à des installations de l'importance de celles qui se font actuellement si on ne considérait pas les expériences faites depuis plusieurs années comme absolument concluantes.

D'ailleurs, grâce à la grande surface donnée au plan d'eau du bief de partage, qui comprend un véritable petit lac à chacune de ses extrémités, la nécessité d'un fonctionnement constant et régulier des machines est bien loin d'être comparable à celle qu'exige l'éclairage d'une ville ou la mise en marche d'un atelier. Il suffit, en effet, d'admettre que le niveau de ce bief peut varier de 2^m,50 de hauteur pour créer ainsi une réserve d'eau suffisante pour assurer la navigation quand bien même toutes les machines viendraient à manquer ensemble pendant une quinzaine de jours.

D'après les dispositions indiquées nous aurions donc, en partant de l'Atlantique, d'abord un bief maritime de 22 kil. 1/2 de longueur aboutissant à l'écluse n° 1. Ce Canal qui est, d'ailleurs, presque entièrement terminé, serait partagé en 4 parties par 3 garages permettant le croisement des navires.

Par l'écluse n° 1 le plan d'eau serait relevé à la côte 11 et par l'échelle d'écluses située environ 1 kilomètre plus loin les navires atteindraient le grand lac d'aménagement des eaux du Chagres dont le niveau pourrait varier entre les côtes 30 et 33.

Ce grand lac, dans lequel les plus fortes crues ne détermineraient qu'une très faible variation de niveau, servirait de régulateur au débit

du fleuve, en emmagasinant toute la partie dépassant un certain maximum qu'on se serait fixé à l'avance et laissant ensuite échapper ce volume lorsque le débit est redescendu à un chiffre moins élevé que celui de ce même maximum.

En outre cet immense réservoir permettrait de conserver en réserve une quantité d'eau suffisante pour compenser le faible débit des cours d'eau pendant la saison sèche.

A propos de cette considérable nappe d'eau qui couvrirait environ de 9 à 10.000 hectares, on pourrait objecter qu'elle s'étendra à une très grande distance de l'axe du canal, inondant ainsi des terres inconnues et de plus qu'il y aurait lieu de craindre que, par suite de l'existence de cols situés à une altitude inférieure à son niveau, cet immense bassin n'ait un écoulement dans une des vallées voisines. Les dernières études faites par la Liquidation ont montré que ces craintes n'étaient pas fondées et, pour toutes les personnes qui ont exploré la contrée, la fermeture du lac, ainsi que son étanchéité, ne font plus aucun doute.

En ce qui concerne l'objection relative à la valeur des terres inondées, il est facile de comprendre qu'elle ne serait guère plus sérieuse que celle correspondant à une zone d'inondation moins étendue, à celle prévue dans le projet de la Commission d'Études par exemple. Les seuls terrains qu'il y aura lieu de payer un peu plus chers, sont ceux situés à proximité du canal et du chemin de fer de Panama à Colon, car ce sont les seuls qui soient un peu cultivés. Dès qu'on s'écarte légèrement de ces deux lignes, on tombe dans des territoires qui, à part quelques rares ranchos⁽¹⁾ situés le long des rios⁽²⁾, sont aussi incultes qu'inhabités.

Quant à la déviation du P. R. R.⁽³⁾, qu'il sera nécessaire de rejeter à gauche du canal, nous ne croyons pas qu'elle présente de grandes difficultés et nous appuyons notre dire sur l'opinion de M. le colonel Rives, surintendant de cette Compagnie.

M. Rives, dans un projet remarquable d'achèvement du canal, admet en effet à Bohío une retenue d'eau d'une hauteur semblable à celle que nous avons adoptée (30 mètres au lieu de 33) et malgré cela il estime le prix de revient kilométrique de la déviation de cette voie à un chiffre moins élevé que celui fixé par la Commission d'études. Sa connaissance incontestée des travaux dans l'isthme, où il réside depuis de longues années, donne à notre avis le plus grand poids à ses appréciations, surtout en matière de chemins de fer.

1. Cabanes en bois couvertes en chaume.

2. Nom générique des rivières et des ruisseaux.

3. Initiales sous lesquelles on désigne ordinairement le Panama Rail Road, ou chemin de fer de Panama.

Du lac principal on monterait dans le bief de partage par une échelle de deux écluses située à Bas-Obispo et on descendrait ensuite par une échelle pareille située à Paraiso dans un premier lac intermédiaire formé en barrant une seconde fois la vallée du Rio-Grande à Pedro Miguel. De ce lac on passerait dans un deuxième obtenu de la même manière, par une autre échelle de 2 écluses, toujours de 11 m. de chute, et on arriverait ainsi à Miraflores ou l'on n'aurait plus qu'à franchir la dernière écluse, située à cet endroit et servant en même temps d'écluse à marée, pour passer dans le bief maritime de l'Océan Pacifique.

En dehors du grand lac ou la voie navigable sera pour ainsi dire indéfinie et où les navires pourront développer toute la vitesse dont ils sont susceptibles et se croiser dans toute sa traversée, le canal aura les dimensions adoptées par l'ancienne compagnie et par la Commission d'études, c'est-à-dire 9 mètres de profondeur et 22 m. de largeur au plafond, avec des talus dont l'inclinaison variera avec la nature des terrains traversés.

Tout en nous réservant d'exposer plus longuement le rôle du bief de partage, nous ferons remarquer ici le peu d'importance à laquelle les dispositions adoptées réduisent la fameuse tranchée qui doit traverser la Cordillère. Comme l'a fort bien établi le rapport de la Commission d'études « *cette tranchée* (qui dans son projet doit avoir « 76 mètres de hauteur sur l'axe) *est assurément l'ouvrage le plus long et probablement le plus difficile et le plus exposé aux mauvaises chances de tous ceux que nécessite l'établissement du canal.* » Aussi, aurait-elle désiré en réduire le plus possible la profondeur et n'a-t-elle été arrêtée dans cette voie que par l'importance que devait prendre alors le barrage formant le bief de partage, qu'elle jugeait indispensable de faire alimenter directement par les eaux du Chagres.

Elle s'est donc trouvée en face de deux desiderata difficiles à concilier, celui de placer le plus haut possible le bief supérieur, de façon à réduire les terrassements de la grande percée, et celui de ne pas dépasser une certaine limite, déterminée par les conditions difficiles dans lesquelles devait être établi le barrage de San Pablo.

Nous avons évité cette alternative en ne donnant au lac établi pour l'aménagement des eaux du Chagres, qu'une surélévation compatible avec des conditions favorables pour la construction du barrage de retenue et en nous servant de la puissance de ce cours d'eau, non pas pour alimenter directement le plan d'eau supérieur, mais pour y envoyer mécaniquement au moyen de la chute créée à Bohio, l'eau qui lui est nécessaire.

C'est cette solution qui nous a permis d'adopter pour le bief de partage une altitude telle que l'énorme masse du massif central se

réduit à un mamelon dans lequel la trouée à pratiquer ne dépasse guère en hauteur celle de plusieurs tranchées existantes (1).

Le but que nous avons poursuivi en cherchant à n'entamer que le moins profondément possible ce massif, a été, non seulement de réduire la dépense au minimum, mais encore et surtout, d'éviter les aléas et les dangers de toute sorte que ne peut manquer de présenter une pareille coupure, dans un terrain dont la stabilité est fortement mise en doute.

On ne manquera pas de remarquer que le nombre d'écluses que nous avons employées est plus grand que celui qui a été admis par la plupart des auteurs de projets d'achèvement du canal et par la Commission d'études. L'ancienne Compagnie et quelques ingénieurs ont bien comme nous, adopté cinq écluses sur chaque versant, mais la Commission d'études a réduit ce nombre à quatre, d'autres ne l'ont porté qu'à trois seulement et enfin dans un projet qui a fait assez de bruit, on s'est contenté d'une seule écluse à grande dénivellation pour atteindre le plan d'eau supérieur.

A ce sujet nous rappellerons que, ainsi que l'a fait remarquer la Commission d'études, la capacité de fréquentation d'un canal n'est pas affectée par le nombre des écluses qui s'y trouvent, mais seulement par la durée du passage des navires dans chacune d'elles. Leur nombre n'a pas d'autre effet que d'augmenter un peu la durée de la traversée du canal, et nous démontrerons que, malgré cela, grâce aux dispositions que nous avons adoptées, le temps nécessaire pour passer d'un océan à l'autre sera moindre dans notre projet que dans la plupart de ceux qui ont été présentés jusqu'à ce jour.

Nous verrons d'ailleurs que la capacité de fréquentation sera bien plus que suffisante pour assurer le transit qui pourra être appelé à passer par le Canal.

Enfin un des derniers avantages de notre projet est de rendre possible, comme nous le verrons, l'établissement du Canal à double voie sur toute sa longueur, résultat qu'on ne peut espérer avec les autres projets.

En terminant ce rapide exposé nous ferons remarquer que la solution que nous avons l'honneur de proposer a l'avantage capital de ne demander pour terminer les travaux qu'un délai de quatre ans au lieu des huit ans qui sont nécessaires pour l'exécution du projet de la Commission d'études.

L'ouverture du Canal n'est plus, en effet subordonnée au temps

1. La hauteur maxima de la tranchée du canal de Corinthe atteint 88 mètres sur l'axe, tandis que, avec le profil que nous proposons, cette hauteur, au point culminant de la Culebra, ne sera que de $101^m66 - 40 = 61^m66$.

nécessaire pour vider l'énorme tranchée de la Culebra, mais seulement à celui nécessité par la construction des écluses et des barages, et l'on sait que la Commission a admis que ces ouvrages étaient parfaitement exécutables dans un délai de trois ou quatre ans.

Ainsi qu'on le verra plus loin, la solution à laquelle nous nous sommes arrêté réduirait le coût total des travaux, y compris $\frac{1}{5}$ en plus pour les imprévus de toute sorte, auquel une pareille entreprise peut donner lieu, à la somme de 435 millions. En y ajoutant les frais d'administration, d'émission et d'intérêts, pendant la période d'exécution, calculés sur les plus larges bases, la somme totale à demander au crédit public ne s'élèverait qu'à 560 millions (1) au lieu des 900 millions demandés par la Commission d'études.

Il est d'ailleurs bien entendu que nous admettons l'hypothèse, que les travaux déjà exécutés, et le matériel existant sur les chantiers seraient cédés par la Liquidation à la nouvelle Compagnie, et que pour avoir le montant total du capital à rémunérer, il faudrait ajouter à ce chiffre le prix auquel cette cession sera faite.

Si l'on suppose, ce qui est au moins vraisemblable, que cette cession sera faite pour la valeur qu'elle a réellement d'après l'estimation de la Commission d'études, c'est-à-dire, pour la somme de 450 millions, le capital à gager serait au plus d'un milliard.

Or, d'après les évaluations de la même Commission, qui ne peuvent assurément être taxées d'optimisme, les revenus nets du canal, plus faibles pendant les premières années qui suivront l'ouverture, atteindraient huit ans après, 51 millions, c'est-à-dire permettraient de fournir au capital ci-dessus une rémunération de plus de 5 %. Cette rémunération irait d'ailleurs en croissant encore et dépasserait 6 %, quatre années plus tard.

Dans ces conditions, on voit que le Canal de Panama peut encore être une affaire d'un grand rapport, et présentant autant de sécurité que la plupart des grandes sociétés industrielles ou financières. Dès lors, nous ne croyons pas qu'il manque, en France, de personnes honorables et compétentes, pour se mettre à la tête d'une société d'achèvement, ni de souscripteurs ayant assez de confiance dans la réussite de l'entreprise, pour fournir les capitaux qui sont nécessaires pour la mener à bonne fin.

1. D'après le contrat de prorogation des délais fixés pour l'ouverture du canal récemment obtenu par M^r Wyse il y aurait lieu d'ajouter à cette somme 14 millions pour indemnités à payer au gouvernement colombien, mais nous estimons que la majoration de 20 0/0 que nous avons fait subir au montant des travaux est largement suffisantes pour faire face à cette dépense. Grâce aux détails dans lesquels nous sommes entré, les travaux imprévus ne seront en effet que peu nombreux et peu importants et nous croyons qu'il sera de plus possible de réaliser une sérieuse économie sur les prix de revient que nous avons admis. Voir à ce sujet l'appendice placé à la fin de cette étude.

Pour faciliter la comparaison à nos lecteurs, dont la plupart connaissent sans doute le projet décrit par la Commission d'études dans son rapport technique, nous adopterons autant que possible, dans les développements qui vont suivre, une marche parallèle à celle suivie dans ledit rapport. Pour cela nous diviserons notre étude de la manière suivante :

- 1° *Tracé et profil en long* ;
- 2° *Profils en travers et terrassements* ;
- 3° *Aménagement des eaux* ;
- 4° *Ouvrages d'art* ;
- 5° *Alimentation* ;
- 6° *Mode et délais d'exécution* ;
- 7° *Établissement des prix de revient* ;
- 8° *Évaluation des dépenses* ;
- 9° *Produit du Canal* ;
- 10° *Résumé et conclusions*.

Remarque. — Avant d'entrer à fond dans la justification des dispositions que nous avons adoptées, nous tenons à dire ici hautement que, non seulement nous avons cherché à diriger notre étude parallèlement à celle de la Commission d'études, mais encore que nous avons puisé largement dans son travail et adopté franchement plusieurs des solutions indiquées par elle. Nous ajouterons même que dans certains cas malgré une conviction presque contraire et faute de preuves suffisantes pour appuyer notre opinion, nous avons préféré nous ranger à son avis plutôt que de nous mettre en contradiction avec des conclusions adoptées d'un commun accord par des ingénieurs dont la haute compétence et la bonne foi ne sauraient être mises en doute.

Pour ces raisons nous n'avons décrit que très succinctement et sans les justifier celles des dispositions que nous avons empruntées à la Commission d'études, nous attachant surtout à développer, autant que le comporte le cadre restreint que nous nous sommes imposé, celles qui nous sont propres et plus particulièrement celles qui sont en contradiction avec Elle ou avec d'autres auteurs de projets d'achèvement du Canal.

CHAPITRE PREMIER

TRACÉ ET PROFIL EN LONG

Nous conserverons le tracé en plan du Canal à niveau sans aucun changement, utilisant ainsi la presque totalité des terrassements déjà exécutés et des installations existantes. Nous croyons d'ailleurs inutile de justifier cette disposition qui a été adoptée par tous les auteurs de projets d'achèvement du Canal.

Quant au profil longitudinal il se composera, comme dans tout canal à écluses et à bief de partage, de deux séries de redans partant l'un de l'Atlantique, l'autre du Pacifique et permettant pour ainsi dire, de faire des deux côtés l'ascension partielle de la Culebra.

Au lieu d'avoir, comme avec un canal à niveau, une ligne en palier, allant directement d'un océan à l'autre, on a au contraire deux gigantesques escaliers appuyés sur les flancs opposés de la montagne et dont les biefs forment les marches et les écluses les contre-marches.

Partageant l'avis de la Commission d'études que, le travail non seulement le plus long et le plus coûteux, mais encore le plus difficile, et le plus dangereux pour l'exploitation du Canal, serait l'ouverture d'une tranchée trop profonde dans le massif central, nous n'avons pas hésité à relever le plus possible le bief de partage, après nous être toutefois assuré, d'une façon indiscutable, que son mode d'alimentation ne laisserait rien à désirer.

C'est ainsi que nous avons été amené à admettre un bief supérieur compris tout entier dans le massif central et s'étendant du kilomètre 46.280 au kilomètre 56.550 et dont l'alimentation se ferait en partie par des machines élévatoires, mises en mouvement par la chute créée à Bohío, et en partie par les eaux de l'Obispo et du Rio-Grande. Ces eaux seraient recueillies au moyen de deux barrages situés : l'un à Bas-Obispo, fermant la vallée du Rio-Obispo, qui est en cet endroit très étroite, et l'autre à Paraiso, accolé à l'échelle d'écluses qui limite le bief supérieur du côté du Pacifique. Un troisième barrage, qui n'aurait d'ailleurs que quelques mètres de hauteur, et qui pourrait être très facilement construit en terre avec les déblais provenant de la tranchée de la Culebra, devrait être établi pour empêcher les eaux de passer dans la vallée de la quebrada *Mallejon* par le col qui se trouve entre les cerros *Luis-Coyo* et *Escobar* et dont l'altitude est inférieure à celle de la retenue.

Le bief supérieur serait donc formé d'un couloir d'environ 7 kilomètres de longueur, du kilomètre 48,500 au kilomètre 55,500 reliant les deux lacs ainsi créés et présenterait à ses deux extrémités des garages sûrs et commodes.

Le niveau de l'eau serait susceptible de varier dans ces lacs entre les cotes 49 et 52 de façon à permettre l'emmagasinement des eaux fluviales et en même temps à suffire à lui seul, sans le secours des machines élévatoires, à la consommation d'eau nécessitée par les éclusées pendant une quinzaine de jours. On empêcherait le niveau maximum d'être dépassé, au moment des pluies torrentielles, par l'emploi de deux simples vannes de fond placées dans le barrage de Bas-Obispo.

La profondeur d'eau jugée nécessaire à la navigation étant de 9 mètres, il s'ensuit que le niveau du plafond ne serait pas abaissé au-dessous de la côte 40 et que la hauteur de la tranchée sur l'axe ne serait plus que de 60 mètres; chiffre qui n'a évidemment plus rien d'effrayant puisqu'il a été déjà presque atteint dans plusieurs tranchées existantes.

Dans ces conditions les terrassements qui restent à exécuter pour percer le massif central n'ont plus qu'une importance très faible puisqu'ils ne s'élèvent pas à 6 millions de mètres cubes, tandis que dans le projet de la Commission, ils atteignent près de 16 millions de mètres cubes et que ce dernier chiffre est encore dépassé dans la plupart des autres projets d'achèvement du Canal.

Les avantages de la surélévation du bief supérieur ne consisteraient d'ailleurs pas uniquement dans une réduction du cube à extraire.

Avec une tranchée dont les dimensions n'ont plus rien d'anormal, il n'y a plus lieu de craindre les difficultés et les dangers qui ont été si justement appréhendés dans le cas d'une tranchée beaucoup plus profonde.

De plus, non seulement le cube à enlever est très considérablement réduit, mais encore son extraction devient notablement plus facile car, ainsi que les derniers sondages l'ont montré, c'est dans la partie basse que se trouvent les roches les plus dures. Enfin à cette côte élevée on n'aura que l'embarras du choix des emplacements nécessaires pour la mise en dépôt des déblais. Non seulement ces emplacements existent à proximité, mais encore les voies qui y conduiront pourront être établies en palier et même en pente, tandis qu'avec une tranchée beaucoup plus profonde, on serait obligé d'aller chercher plus loin ces emplacements et de remorquer les déblais sur des rampes plus ou moins fortes.

Enfin, ainsi que nous le verrons dans le chapitre suivant, cette grande altitude du bief permettra de réaliser la mise à double voie du Canal sur toute sa longueur, avec une dépense relativement peu importante.

En ce qui concerne les écluses, nous ne pouvions mieux faire que de leur attribuer les mêmes dimensions que celles prévues dans le projet de l'ancienne Compagnie qui ont paru convenables, à tous égards, à la Commission d'études et qui permettent d'utiliser le matériel déjà approvisionné dans l'isthme par l'entreprise Eiffel. Elles auront donc 11 mètres de chute, 180 mètres de longueur utile, et 20 mètres de largeur.

Mais en admettant ce système nous avons employé un double sas, c'est-à-dire accolé ensemble deux écluses identiques, de façon à avoir deux passages fonctionnant simultanément, soit pour élever ou descendre deux bateaux à la fois, soit pour en monter un et descendre un autre dans le même intervalle de temps. Ce procédé, qui a été d'ailleurs reconnu indispensable par la plupart des auteurs de projets à écluses, permet de donner au Canal une capacité de fréquentation suffisante et au-delà, pour satisfaire à tous les besoins de la navigation et de plus, évite les interruptions de service qui pourraient être occasionnées par des avaries aux portes des écluses.

Nous avons déjà dit, que, à part les deux écluses extrêmes, toutes les autres seraient groupées deux à deux, et l'on sait que si, ce système d'échelonnement permet de réduire le nombre de manœuvres, il a le grave inconvénient de doubler la consommation d'eau.

Aussi avons nous imaginé un système de remplissage et de vidange des sas, qui supprime ce défaut et réduit la consommation à ce qu'elle serait dans le cas d'écluses isolées. Ce moyen, qui sera décrit plus loin, est basé sur ce que, en général, il se présentera en même temps à chaque échelle d'écluses un bateau montant et un bateau descendant. Il met à profit le groupement des 4 sas et consiste simplement à remplir le sas inférieur de l'écluse employée au mouvement ascendant, avec l'eau provenant du sas supérieur de l'écluse qui lui est accolée et qui est en même temps employée au mouvement de descente.

On peut objecter que, dans un grand nombre de cas, ce système ne sera pas applicable, car les bateaux se présentant très irrégulièrement aux passages des écluses, il sera assez souvent nécessaire de consacrer les deux échelles simultanément, soit à la montée, soit à la descente. C'est pour répondre à cette observation, qui est d'ailleurs parfaitement juste, que nous avons majoré d'un tiers la quantité d'eau prévue pour la consommation du bief de partage, tout en faisant remarquer que la Commission d'études n'a pas jugé à propos de tenir compte de cette circonstance.

Les écluses limitant le bief supérieur du côté de l'Atlantique donneront accès sur le grand lac destiné à amortir et à emmagasiner les crues du Chagres et qui, ainsi que nous l'avons déjà dit, sera créé par un barrage établi à Bohío et qui, en fermant la vallée en ce point

relèvera les eaux à une hauteur maximum de 33 mètres susceptible de s'abaisser jusqu'à la côte 30 à la fin de la saison sèche.

Les effets régulateurs de ce lac seront décrits plus loin et nous nous contenterons de dire ici, que, dans le bief qu'il formera, la largeur navigable sera pour ainsi dire indéfinie. Les seuls points où il existe encore des passes où le croisement des navires serait impossible, sont : les buttes de San Pablo au kilomètre 37 et de Matachin au kilomètre 43.700 ; mais, ces endroits seront élargis de façon à rendre ce croisement facile. Ce dernier travail pourrait même, à la rigueur, être évité car, à côté de ces buttes se trouve le lit de Chagres que les bateaux allant dans un certain sens pourraient suivre, tandis que le Canal proprement dit serait réservé à ceux marchant en sens contraire. Mais nous croyons que la faible dépense qui sera nécessaire pour élargir le Canal n'est pas comparable avec les inconvénients qui résulteraient de l'emploi de cette disposition.

Du grand lac on descendrait par une échelle d'écluses pareille à la précédente, dans un bief intermédiaire dont le plan serait situé à la côte 11 et qui s'étendrait seulement entre les kilomètres 22,770 et 23,830 c'est-à-dire qui n'aurait que 1,060 mètres de longueur.

Ce n'est qu'à regret que nous avons admis un bief aussi court, sachant quelle gêne cette disposition apporte à la navigation et nous aurions préféré supprimer ce petit bief en plaçant l'écluse n° 1 à la suite de l'échelle d'écluses précédente ; mais, il nous a paru que les inconvénients provenant de cette solution, seraient encore plus considérables et nous avons cru devoir, sinon y renoncer complètement, du moins réserver cette question jusqu'à ce que de nouvelles études aient donné des renseignements plus précis, tant sur la nature du terrain, que sur la quantité d'eau réelle dont on pourra disposer pour l'alimentation du Canal pendant la saison sèche.

L'échelonnement de trois écluses aurait en effet pour résultat d'augmenter la consommation d'eau d'une sassage par bateau et de plus les quelques sondages qui ont été faits à l'emplacement que devrait alors occuper la première écluse, ont montré que le terrain n'était pas favorable aux fondations d'un ouvrage de ce genre.

Il est vrai que le résultat de ces sondages, faits avec un petit appareil, est discutable et que des puits foncés à ciel ouvert accuseraient peut être un sol plus résistant. Enfin, au moment où nous avons admis ce bief de faible longueur nous n'avions pas encore terminé nos études sur la surface du grand lac et, n'espérant pas pour celui-ci une aussi grande surface, nous craignons, en échelonnant trois écluses ensemble, d'être conduit à une consommation d'eau à laquelle il serait difficile de faire face pendant la saison sèche.

L'étendue que nous sommes maintenant en mesure d'attribuer à ce lac étant supérieure à nos propres prévisions et dépassant de moitié

celle prévue par les auteurs de projets (1), comportant une retenue à Bohio analogue à celle que nous avons choisie, on aura, avec la même variation de niveau, une réserve d'eau d'autant plus grande et nous avons même la conviction que cette dernière objection n'a plus sa raison d'être.

C'est pour rester dans les limites d'une extrême prudence, que nous avons conservé le bief intermédiaire entre le bief maritime et le grand lac, mais, nous le répétons, tout en nous réservant de le supprimer si de nouvelles études nous démontrent qu'on peut le faire sans inconvénient.

Nous soumettant à l'obligation d'avoir un bief court, nous avons cherché à le débarrasser de tous les défauts qui ne dépendent pas absolument de cette faible longueur. C'est pour cela que nous avons donné au plan d'eau une très grande largeur afin de rendre presque insensibles les variations de niveau provenant du fait des éclusées et que, pour faciliter la navigation, nous avons adopté pour la cuvette un profil permettant aux navires de s'y croiser sur toute sa longueur. La première de ces dispositions obligera de reporter sur la gauche l'ancienne dérivation R. G. n° 3 (2) jusque près de l'emplacement actuel du P. R. R. mais il n'y a là aucun autre inconvénient que l'enlèvement d'un cube de terrassements un peu important. Enfin, l'établissement du plan d'eau du bief à la côte 11, dans un endroit où celle du terrain n'est que de 9 à 10, obligera de construire sur les côtés du Canal, de petites digues de 2 ou 3 mètres de hauteur, ce qui n'a évidemment rien de dangereux ni de difficile.

Au-delà de la première écluse et jusqu'à l'Océan Atlantique, le profil en long du Canal ne présente plus rien de particulier, et on sait d'ailleurs qu'il est déjà presque terminé sur tout ce parcours.

Du côté du Pacifique, la descente se fera de la même manière, c'est-à-dire par deux groupes de deux écluses et une dernière écluse isolée. Du bief supérieur, on passera par l'échelle d'écluses, qui le limite dans un lac intermédiaire dont le niveau invariable sera à la côte 30, et de ce dernier lac, par les écluses situées au kilomètre 59 dans un autre semblable dont le plan d'eau aussi invariable, sera à la côte 8. Enfin, de ce dernier on passera dans le bief maritime par une seule écluse, servant en même temps d'écluse de marée et dont la chute variera par suite entre 5 et 11 mètres.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, tous ces lacs seront limités par des barrages perpendiculaires à la vallée, de façon à supprimer les

1. Voir la note de la page 32.

2. Les initiales R. G. et R. D. désignent par abréviation la rive gauche ou la rive droite du canal.

digues longitudinales qu'il y aurait lieu d'établir dans les endroits où le plan d'eau du canal est plus élevé que le sol naturel. De plus, ces lacs à cause de leur grande surface, rendront plus faibles les variations de niveau du plan d'eau par suite des éclusées et de plus faciliteront l'aménagement des eaux pluviales.

CHAPITRE II

PROFILS EN TRAVERS

Les dimensions et la forme à donner à la cuvette du Canal, sur les divers points de son parcours, n'ont été que fort peu discutées et presque tous les auteurs de projets d'achèvement, y compris la Commission d'études, ont, sauf de très légères modifications, adopté les dispositions qui avaient été mises à exécution par l'ancienne Compagnie. Convaincu que ces dispositions, outre qu'elles sont les plus économiques, sont parfaitement suffisantes pour satisfaire à tous les besoins de la navigation, nous n'avons pas jugé utile de chercher à en employer d'autres.

Nous aurons donc entre l'Atlantique et la première écluse une cuvette de 9 mètres de profondeur et 22 mètres de largeur au plafond avec des talus ayant une inclinaison moyenne de deux de base pour un de hauteur ce qui nous donnera 57 mètres de largeur au plan d'eau.

Cette inclinaison de 2 sur 1, ne sera d'ailleurs qu'approximative car nous croyons qu'il sera bon de conserver les talus qui se sont formés naturellement depuis la période d'exécution jusqu'à maintenant. Ces talus, d'après le projet primitif, devraient n'avoir qu'un de base pour un de hauteur avec 22 mètres de largeur au plafond, mais, dans aucun cas, ce profil n'a été réalisé. Grâce aux procédés employés par les entrepreneurs, et qui consistaient à placer les clayonnages, destinés à retenir les déblais rejetés sur les berges par les longs couloirs des dragues, le plus près possible des emprises du Canal, de nombreux éboulements se produisaient élargissant la cuvette. Les clauses du contrat empêchaient d'ailleurs aux agents de la Compagnie d'interdire cette manière de procéder dans laquelle les entrepreneurs trouvaient un double intérêt, par suite de la plus grande facilité avec laquelle ils opéraient leurs décharges et par l'avantage qu'ils trouvaient à draguer les éboulements qu'ils avaient provoqués. Il en est résulté, que presque partout la largeur du Canal à la ligne d'eau est beaucoup plus grande que ce qu'elle devrait être et qu'au lieu des 40 mètres du profil primitif elle dépasse souvent 50 et même 60 mètres.

Pour cette raison, et à part dans quelques points exceptionnels

nous croyons qu'il ne sera pas nécessaire d'avoir recours à la banquette de flottaison recommandée par la Commission d'études.

Dans le premier bief faisant suite au bief maritime nous adopterons, à cause de son peu de longueur, une largeur de 60 mètres au plafond, afin que les navires puissent aisément s'y croiser et qu'il puisse servir de garage, et la même inclinaison de talus, c'est-à-dire 2 de base pour 1 de hauteur. Quant au plan d'eau, situé à la côte 11, il sera de 1 ou 2 mètres plus élevé que le terrain naturel et limité par de petites digues latérales en terre de 2 ou 3 mètres de hauteur. Ces digues, qui seront inégalement distantes de l'axe du Canal et qui formeront un véritable petit lac, seront éloignées l'une de l'autre d'environ 410 mètres, ce qui sur une longueur de 1060 mètres donnera une surface de 43^h.4600.

Dans ces conditions, les variations de niveau de ce lac, dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire dans celui de deux éclusées faites simultanément ne seront que de :

$$\frac{2 \times 47.300}{43\ 4600 + (2 \times 430)} = 0^m.21$$

47.300 étant, comme nous le verrons plus loin, le cube d'une éclusée et 430 la surface d'un sas.

On comprend que de pareilles oscillations, qui pourront se produire soit au-dessus, soit au-dessous du niveau moyen et dont l'amplitude totale ne sera que de 0^m,42, seront trop faibles pour gêner la navigation.

La construction des digues ainsi nécessitées pourra d'ailleurs se faire très économiquement avec les matériaux provenant des fouilles du Canal pour la digue de droite, et de celles de la nouvelle dérivation rive gauche n° 3, pour la digue de gauche. Des retours de ces digues viendront s'appuyer contre les écluses afin de produire la fermeture de l'étang ainsi obtenu.

Quant à la traversée du Chagres au kilomètre 23.500 elle ne présente non plus aucune difficulté. Avec les matériaux rocheux provenant des fouilles des écluses dans la butte du kilomètre 24, on pourra construire presque complètement les deux barrages nécessaires à cet endroit, en avançant deux éperons jusqu'aux $\frac{2}{3}$ environ de la largeur du lit de façon qu'une fois la dérivation rive gauche ouverte, on puisse, dans une seule saison sèche et avec les matériaux provenant de la fouille du Canal, fermer la baie laissée pour le passage des eaux du Chagres.

Un grand nombre de décharges rocheuses ont été ainsi faites dans le lit de cette rivière, quelquefois même sur plus de la moitié de sa largeur et toutes ont bien résisté aux diverses crues qu'elles ont essuyées

depuis. C'est le terrain naturel de la berge opposée qui a toujours cédé et qui a subi des érosions plus ou moins fortes suivies d'éboulements peu importants.

La partie de ces barrages construite en matériaux rocheux comportera un corroi intérieur de façon à en assurer l'étanchéité et de plus sera recouverte de terre végétale qui, tout en contribuant à l'étanchement, aidera aussi à la consolidation de la digue à cause de la puissante végétation qui ne tardera pas à s'y développer.

Quant aux autres parties des digues latérales, il n'y a pas plus à se préoccuper de leur étanchéité que de leur solidité, car elles seront établies avec des argiles plus ou moins sableuses, très favorables pour ce genre de constructions, et de plus, elles auront une épaisseur infiniment plus grande que celle qui leur est nécessaire, puisque avec une très faible hauteur elles utiliseront néanmoins tout le cube provenant des fouilles du canal et de la dérivation.

Enfin, ces digues et barrages se feront sans aucune dépense supplémentaire car nous avons tenu compte dans l'établissement des prix d'application des plus values nécessitées par cet emploi particulier des déblais.

Dans le deuxième bief formé par le grand lac d'aménagement des eaux du Chagres, la profondeur variera de 25 à 9 mètres et encore cette dernière n'existera-t-elle que dans les buttes de San-Pablo et de Matachin, c'est-à-dire vers les kilomètres 37 et 43,800 et sur une très faible longueur à chaque endroit.

Pour éviter les passes retrécies, qui dans l'état actuel d'avancement des travaux existent encore en ces mêmes points, nous avons admis que l'ancienne tranchée du Canal à niveau serait entièrement déblayée jusqu'à la côté 21 avec les talus primitivement adoptés pour ce Canal, ce qui donnerait 64 mètres de largeur au plafond et 82 mètres au plan d'eau.

Ce résultat sera d'ailleurs obtenu sans grande dépense car le cube à extraire n'a que peu d'importance et de plus, comme il n'y aura pour ainsi dire aucun transport à effectuer et qu'il suffira de jeter les déblais provenant de cet élargissement dans les cunettes très profondes déjà creusées pour recevoir les écluses de l'ancienne Compagnie, le prix de 5 fr. 50 que nous avons prévu sera très suffisamment rémunérateur quoique ces déblais doivent être enlevés en grande partie dans la roche dure.

En ce qui concerne les profils à donner aux différentes parties du massif central et en particulier à la grande tranchée de la Culebra, nous ne croyons pas qu'on puisse faire mieux que d'adopter les dispositions préconisées par la Commission d'études. C'est en effet une des parties de son projet les plus complètement traitées et tous ceux qui connaissent bien la question doivent rendre justice à ses appré-

ciations, tant au point de vue des banquettes dont il y a lieu de découper les talus, qu'au point de vue des mesures à prendre pour se débarrasser des éboulements dus aux dépôts de déblais malencontreusement faits à flanc de coteau et sur des terrains peu résistants.

Nous croyons inutile de rappeler ici les sages précautions qu'elle a indiquées et nous nous bornerons à dire qu'après avoir adopté, pour le restant du massif central, un talus à inclinaison moyenne de 1 de base sur 1 de hauteur, elle prévoit dans la Culebra, d'abord une banquette de 11 mètres de largeur, ménagée du côté gauche à la limite des terrains en mouvement et des terrains stables, c'est-à-dire vers la côte 60 du côté du Pacifique et 80 du côté de l'Atlantique, les talus supérieurs à cette banquette devant avoir une inclinaison comprise entre $\frac{3}{2}$ et $\frac{2}{1}$.

Une seconde banquette de 3 à 5 mètres de largeur sera établie sur chaque rive, un peu au-dessus du niveau d'eau du bief de partage, c'est-à-dire dans le cas qui nous occupe à la côte 53 et sera susceptible de recevoir une voie de service au moyen de laquelle on assurera l'entretien et amènera au besoin les appareils nécessaires pour relever les navires en cas d'accident.

Entre ces deux banquettes les talus auraient une inclinaison moyenne de 45° et comprendraient sur le milieu de leur hauteur une banquette de 2 mètres de largeur pouvant recevoir une voie étroite pour enlever les éboulements, mais ne modifiant pas l'inclinaison générale ci-dessus indiquée.

Enfin les talus de la partie mouillée de la cuvette auront aussi une inclinaison de 1 de base sur 1 de hauteur.

En certains points, composés de roches hétérogènes, on sera obligé de recourir à un revêtement maçonné pour éviter les saillies plus ou moins aiguës que ne tarderaient pas à former les roches les plus résistantes et qui mettraient en danger les navires qui viendraient butter contre. Cette précaution devra s'appliquer d'ailleurs sur tous les points du Canal où l'on rencontrera des roches composées d'éléments inégalement résistants.

Nous croyons cependant inutile de porter en compte la dépense qui pourra résulter de ce fait, d'abord parce qu'il est pour ainsi dire impossible de l'évaluer à l'avance et ensuite parce que la majoration d'un cinquième que nous avons fait subir au montant total des travaux sera largement suffisante pour y faire face.

De même que la Commission d'études, nous adopterons des talus moyens de 3 de base pour 2 de hauteur dans les deux biefs par lesquels s'effectuera la descente vers l'Océan Pacifique.

Dans ces deux biefs nous admettrons, à cause de leur faible longueur et du peu de terrassements qu'exigera leur excavation, une

largeur au plafond de 60 mètres avec des talus ayant une inclinaison moyenne de 3 de base pour 2 de hauteur. Il serait d'ailleurs facile de montrer, comme nous l'avons fait pour le premier bief de l'Atlantique, que les variations de niveau dues aux éclusées y seront absolument insensibles.

Il est, d'ailleurs, bien entendu que les inclinaisons ci-dessus indiquées ne sont que des inclinaisons moyennes, destinées surtout à servir de base à l'évaluation des terrassements à exécuter et que, dans la pratique, il y aura lieu de les modifier plus ou moins dans un sens ou dans l'autre suivant la nature des terrains traversés.

Vu la nature vaseuse des terrains dans lesquels sera creusé le bief maritime du Pacifique, nous adopterons des talus ayant une inclinaison de 5 de base pour 1 de hauteur, avec une largeur au plafond de 60 mètres au-delà du bassin de Panama, c'est-à-dire du kilomètre 69, afin de rendre possible le croisement des bateaux entrants et sortants.

Enfin, en ce qui concerne les ports de Colon et de Panama, nous nous en tiendrons simplement aux dispositions adoptées par la Commission auxquelles nous ne voyons rien à changer. Nous aurons donc à Colon un bassin de 25 hectares de superficie relié aux fonds de 9 mètres de la baie de Limon par un chenal de 100 mètres de largeur et à la Boca c'est-à-dire entre les kilomètres 68.200 et 69.000, un autre bassin de 16 hectares de surface de mouillage.

Les derniers sondages exécutés ont montré d'ailleurs qu'il y a lieu d'être rassuré au sujet de la bonne tenue des talus du chenal maritime du Pacifique. Des profils relevés à trois mois d'intervalle n'accusent que des différences de fonds insensibles et où les dépôts compensent à peu près les apports.

D'après ce que nous venons de dire il est facile de se rendre compte que les navires pourront se croiser dans le premier bief de l'Atlantique, dans toute la traversée du grand lac, dans le premier tiers environ du bief de partage, dans les premier et deuxième biefs et dans le chenal maritime du Pacifique et enfin au passage des écluses, de sorte que le Canal sera à double voie à partir du kilomètre 22.500 au kilomètre 48.500, du kilomètre 55.500 au 62.200 et du kilomètre 69.000 à son extrémité, soit sur environ 38 kilomètres, c'est-à-dire, en y ajoutant les bassins de Colon et de Panama, sur plus de la moitié de sa longueur.

Dans ces conditions on doit admettre qu'il sera facile d'établir plus tard, si le besoin s'en fait sentir, une double voie sur toute la largeur du Canal. Pour le moment nous croyons que tel que nous venons de le décrire il suffira parfaitement aux exigences de la navigation, du moins pendant une période d'assez longue durée.

D'ailleurs, pour faciliter le croisement ou le garage des navires, nous découperons le bief maritime de l'Atlantique par 3 garages de 60 mètres de largeur et 200 mètres de longueur utile, séparés par des distances d'environ 5 kilomètres, et nous partagerons le bief supérieur par un autre garage de mêmes dimensions. Enfin des garages semblables seront placés au pied de chacune de ces écluses maritimes; de cette manière la plus longue fraction du Canal à une seule voie sera celle comprise entre le garage de l'écluse de Miraflores et le bassin de La Boca, c'est-à-dire entre les kilomètres 62.400 et 68.200 et n'aura par conséquent que 5^{km}.800.

Ces garages, outre les services qu'ils rendront à la navigation, auront l'avantage de pouvoir servir d'amorces pour effectuer l'élargissement du Canal, dans le cas où il serait reconnu nécessaire.

Etant donnée la côte élevée du bief de partage, ce travail n'a plus rien d'insurmontable, comme dans les autres projets, et il pourra, même dans la grande tranchée, s'exécuter facilement, en transportant, à l'aide de clapets à vapeur, les déblais à extraire dans les deux lacs situés aux extrémités.

Le cube à enlever dans ces conditions ne dépasserait pas cinq millions de mètres cubes qui pourraient l'être au prix moyen de 5 francs le mètre cube, de sorte que la dépense totale nécessitée pour mettre le bief supérieur à double voie ne serait que de :

$$5.000.000 \text{ m}^3 \times 5 = 25.000.000 \text{ fr.}$$

En ajoutant à ce chiffre :

$$18.000.000 \text{ m}^3 \times 3,50 = 63.000.000 \text{ fr.}$$

pour le bief maritime de l'Atlantique.

Et :

$$3.180.000 \times 3,50 = 11.300.000 \text{ fr.}$$

pour le bief maritime du Pacifique.

On obtient pour total le chiffre de 100 millions environ qui représente la dépense supplémentaire qu'occasionnerait la mise à double voie sur toute la longueur du Canal.

AMÉNAGEMENT DES EAUX

1° Aménagement des eaux du Chagres

Nous ne croyons pas avoir besoin de rappeler ici que le système d'aménagement des eaux du Chagres à l'aide d'un ou plusieurs barrages transversaux est, non seulement le plus logique et le moins coûteux, mais encore celui qui offre le plus de sécurité.

Dans son rapport la Commission d'études a condamné d'une façon absolue l'hypothèse d'un réservoir situé à un niveau plus élevé que celui du Canal et dont les difficultés d'exécution feraient un danger permanent pour la conservation de l'œuvre. Elle a de même rejeté avec non moins de raison les rigoles latérales au Canal destinées à l'écoulement du Chagres et de ses affluents, excepté cependant en aval de Bohio où, grâce à la configuration du terrain, cette solution ne présente plus d'inconvénients.

Nous admettons donc que les eaux du Chagres et de ses tributaires seront reçues dans l'immense lac obtenu par le barrage complet de la vallée à Bohio, c'est-à-dire par la fermeture de la vallée principale, ainsi que par celle de trois cols secondaires dont l'altitude est inférieure à celle du maximum de la retenue.

D'après un plan à l'échelle de $\frac{1}{20000}$ que nous avons dressé nous même, de la zone d'inondation ainsi obtenue, et dont la carte ci-jointe n'est qu'une réduction, la surface de ce lac ne serait pas inférieure à environ 10.170 hectares. On trouvera peut-être ce chiffre très élevé, surtout étant donné que les auteurs de projets qui ont admis un lac unique avec un plan d'eau à une altitude peu différente de celle indiquée précédemment, n'ont estimé cette surface qu'à un tiers environ ou au plus à moitié de celle que nous ont donné nos calculs (1). Cela tient sans doute à l'insuffisance des renseignements que possédaient ces

1. Ces lignes ont été écrites avant que nous eussions pris connaissance du rapport de M. Wyse. La superficie attribuée au lac décrit dans ce rapport et dont l'altitude du plan d'eau est un peu inférieure à celle du grand lac que nous avons adopté étant d'environ 9.000 hectares cela confirme parfaitement nos calculs.

auteurs et à ce qu'ils ne se sont pas donné, comme nous, la peine de parcourir la contrée dans tous les sens. Au-delà d'une bande de terrain très étroite s'étendant de part et d'autre du Canal et du P. R. R., on ne possède en effet, à notre connaissance du moins, aucun plan coté permettant de se rendre un compte exact du relief du sol. Tout au plus peut-on en avoir une idée assez vague à l'aide de la carte du général Totten qui est assez exacte, mais qui est à trop petite échelle ($\frac{1}{100000}$) pour être d'une sérieuse utilité, surtout si elle n'est pas contrôlée par d'autres documents ou par des explorations partielles. C'est en nous aidant des études récemment faites à Bohio et à Tavernilla, qui ont permis de connaître assez exactement les vallées des principaux affluents du Chagres, tels que le Caño, le Frijolès et l'Agua Salud et en explorant les vallées secondaires sur lesquelles on n'avait pas de renseignements, que nous sommes arrivé au chiffre annoncé plus haut.

Evidemment ce n'est qu'à l'aide de calculs et de déductions plus ou moins empiriques, que nous avons pu évaluer l'étendue que couvrirait dans une vallée quelconque, une nappe d'eau située à la cote 32^m,50 environ, par comparaison avec celle qui serait inondée par le même plan d'eau dans des vallées assez approximativement connues et plus ou moins semblables.

C'est en partant de diverses hypothèses dont les deux principales sont les suivantes :

1^o *Que la largeur d'une vallée est d'autant plus grande que son cours d'eau principal est plus long et que son confluent est plus rapproché de l'embouchure du fleuve.*

2^o *Que la pente moyenne d'un cours d'eau est d'autant plus petite que sa longueur est plus grande et que son confluent est plus rapproché de l'embouchure du fleuve;*

Que, par une sorte d'interpolation, connaissant les vallées des affluents de la partie haute et de la partie basse du Chagres, nous avons pu déduire celles des tributaires de la partie moyenne et arriver ainsi au résultat indiqué plus haut.

Evidemment ce procédé ne peut donner qu'une approximation plus ou moins approchée, mais on voudra bien admettre que, appuyé dans certains cas sur quelques opérations et toujours sur de nombreuses observations, de façon à rectifier les faits lorsque les hypothèses ci-dessus paraissent en défaut, il doit cependant ne pas s'éloigner trop de la vérité pour pouvoir servir à l'établissement d'un avant-projet; d'autant plus qu'on peut parfaitement supposer que parmi les erreurs commises, plusieurs seront de sens contraire et se détruiront.

D'ailleurs les vallées ainsi calculées à l'exception de celle du Baila-

Monos et du Jigante sont peu importantes et n'influent que peu sur la superficie totale du lac.

Enfin, pour achever de justifier nos calculs, nous dirons qu'en ce qui concerne la partie supérieure de la vallée, c'est-à-dire au-delà de San-Pablo, dans la partie correspondante au lac supérieur de la Commission d'études, nous avons trouvé une superficie d'environ 2.500 hectares au lieu des 3.000 hectares auxquels Elle avait estimé la surface de ce lac. Si l'on considère que la retenue moyenne qu'Elle s'était imposée était à la côte 36 et que de plus, son champ d'inondation comprenait toute la vallée de l'Obispo, qui dans notre projet en est séparée, on comprendra que cette différence de 500 hectares provient de ces deux causes et qu'en réalité notre estimation concorde parfaitement avec la sienne.

Pendant, pour éviter toute critique, dans les calculs qui vont suivre pour expliquer le double rôle du lac, nous réduirons cette surface à 9.000 hectares, afin d'avoir la certitude de ne pas compter sur une étendue trop avantageuse, tandis que dans l'estimation de la dépense nécessitée pour l'acquisition des terrains nous conserverons le chiffre indiqué ci-dessus de 10.170 hectares.

Nous avons dit que l'altitude du plan d'eau de ce lac serait susceptible de varier entre les côtes 30 et 33 afin de créer une réserve d'eau de 2^m,50 pour parer au faible débit du Chagres pendant la saison sèche et d'avoir en même temps une hauteur disponible de 0^m,50 pour emmagasiner provisoirement la partie du volume d'eau débitée par les crues qui excèdera le débit maximum attribué aux déversoirs.

Au premier abord, cette réserve de 0,50 de hauteur paraîtra peut-être bien faible pour atténuer les effets désastreux des crues du Chagres, dont quelques auteurs ont exagéré l'importance et cherché à en faire un véritable épouvantail. Aussi ne croyons-nous pas inutile de dire ici que cette rivière n'est en somme pas plus torrentielle que la Loire ou la Garonne et beaucoup moins que l'Ardèche et la Durance. Les quantités d'eau qu'il débite à l'étiage et celles qu'il roule pendant ses plus fortes crues, varient en effet de 15 à environ 2.000 mètres cubes dans la partie basse de la vallée tandis que le débit à l'étiage de la Garonne, par exemple, est d'environ 36 mètres cubes à Toulouse et a atteint, d'après quelques auteurs, 13.000 mètres cubes pendant la crue de 1875.

La crue de décembre de 1890 qui est cependant la plus rapide et la plus haute que l'on connaisse, n'a monté à Gamboa que de 9^m,55 au-dessus de l'étiage, avec une vitesse constante d'environ 0^m,50 par heure, tandis qu'en 1856 la Loire a atteint 8^m,24, à Amboise et le Rhône 8^m,65, à Avignon et qu'en 1875 la Garonne s'est élevée jusqu'à 9^m,74, à Toulouse.

Le rapprochement de ces chiffres n'a évidemment pas d'importance

dans la question qui nous occupe, mais nous croyons qu'il peut-être de nature à détruire l'idée, aussi fausse que répandue, relative au sujet du régime soi-disant exceptionnel que certains écrivains se sont plus à attribuer à la principale rivière de l'Isthme.

Avant d'aller plus loin nous ferons d'ailleurs remarquer que la Commission d'études, dont le lac d'aménagement des eaux n'a que 3,000 hectares de superficie, a jugé qu'une hauteur d'eau de 2 mètres, était suffisante pour emmagasiner la portion de débit excédant celle qui doit être écoulée par les déversoirs. Le lac, tel que nous l'avons défini, ayant une surface trois fois plus grande, produira évidemment le même effet avec une hauteur trois fois plus petite, soit 0^m,66 et nous allons démontrer, non seulement que la hauteur de 0^m,50 est suffisante pour produire le résultat cherché, mais que, à la rigueur, on pourrait s'en passer et utiliser les 3 mètres de variation de niveau du lac, pour la réserve destinée à fournir l'eau nécessaire pendant la saison sèche.

Malgré les affirmations de quelques auteurs, le régime du Chagres est maintenant assez connu. Depuis 1883, le fluviographe de Gamboa a enregistré très régulièrement la courbe des hauteurs et, grâce aux nombreuses opérations de jaugeage qui se font depuis octobre 1889, sur les différents points du fleuve, on a pu déterminer assez exactement son module qui est d'environ 120 mètres cubes par seconde à Bohio.

D'ailleurs, le débit moyen n'a pas une grande importance car ce sont surtout les débits maxima et minima qui dictent les mesures à prendre pour changer cet ennemi en auxiliaire.

Outre les grandes crues qui se produisent chaque année, le Chagres, comme d'ailleurs la plupart des rivières, est sujet à des crues extraordinaires, ne se produisant qu'à des intervalles de plusieurs années et dont il est difficile de fixer la durée moyenne. Tantôt, cet intervalle est de sept à huit ans et même plus, tandis que d'autres fois, comme en 1888 et 1890, ces crues se succèdent au bout de deux années seulement.

Les effets de ces crues sont d'ailleurs très différents suivant la manière dont elles se produisent. Si la rivière monte lentement, ces effets se bornent à une simple inondation n'occasionnant pas de grands dommages, comme cela est arrivé le 14 décembre 1888; tandis que si, par suite de pluies torrentielles le flot monte rapidement, le courant atteint une grande vitesse et renverse tout sur son passage. C'est ainsi que la crue du 2 décembre 1890 a emporté, bien avant d'atteindre son maximum, des ouvrages qui avaient parfaitement résisté à celle qui l'avait précédée deux ans avant, notamment le

pont en fer qui traverse le Chagres au kilomètre 45.000 et une digue en terre située kilomètre 43.850 et destinée à protéger les fouilles de l'écluse n° 3 de l'ancienne Compagnie.

Par contre, les crues rapides durent peu et fournissent en général un volume d'eau total plus faible que les crues lentes. Ainsi la crue de 1888 a duré 70 heures à Gamboa roulant en ce point un volume d'environ 700 millions de mètres cubes tandis que celle de 1890 n'a duré que quarante-huit heures et, malgré sa plus grande vitesse, n'a produit que 500 millions de mètres cubes.

Bien entendu, ces chiffres ne sont donnés que pour fixer les idées et n'ont qu'une approximation relative, car ils ne résultent pas de jaugeages directs, mais seulement d'une extrapolation basée sur la comparaison des courbes des hauteurs, enregistrées pendant ces crues par le fluviographe, avec des hauteurs pour lesquelles le débit a été exactement mesuré.

D'ailleurs, dans le cas qui nous occupe, le débit qu'il importe de connaître n'est pas celui qui passe à l'observatoire de Gamboa, mais bien celui qui se produit à Bohio.

Deux expériences directes, soigneusement faites en ce point pendant la journée du 2 décembre 1890, ont donné, la première, pour une côte du Chagres de 9^m,40, 1840 mètres cubes, et la seconde, faite six heures plus tard, 2125 mètres cubes⁽¹⁾, la rivière ayant alors atteint son maximum de hauteur qui s'est élevé jusqu'à la côte 9^m,80.

Ces deux résultats sont probablement un peu trop forts, car nous croyons que le coefficient qui a servi à déduire, de la vitesse observée à la surface, la vitesse moyenne à laquelle ils se rapportent, est un peu trop élevé, mais, malgré cela, pour faire face à toute les éventualités, nous admettrons dans les calculs qui vont suivre que le débit maximum puisse s'élever à 2.500 mètres cubes et nous supposons une crue de cette intensité ayant une durée double de celle de 1890.

La différence de vitesse de ces crues va d'ailleurs en s'atténuant très rapidement à mesure qu'on se rapproche de l'embouchure et elle est à peu près nulle à Bohio ce qui tient au rôle régulateur que joue la grande plaine de Tavernilla.

Les eaux trouvent en effet, en cet endroit, une immense surface sur laquelle elles peuvent s'étaler et comme elles doivent ensuite passer par une section retrécie, à Buena-Vista, il se produit un remous considérable occasionnant l'emmagasinement momentané d'un énorme volume d'eau, qui ne s'écoule que lorsque la crue est dans sa période décroissante.

1. Ces côtes sont les hauteurs absolues au-dessus du niveau moyen des mers. Le niveau de l'étiage à Bohio est à la côte de 0^m,30.

On conçoit d'ailleurs que le remplissage de cet immense réservoir doit demander un temps très notable, si l'on considère que la largeur de la zone inondée atteint 2 ou 3 kilomètres et même, en certains points, plus du double. De chaque côté de la rivière et perpendiculairement à sa direction, des courants s'établissent au fur et à mesure que le niveau s'élève. Mais la vitesse de ces courants, qui portent ainsi les eaux vers les bords de la vallée, est infiniment plus faible que celle du courant principal, à cause de la résistance que leur oppose la végétation et les obstacles de toute nature, et ce n'est pour ainsi dire que lorsque la crue est depuis un certain temps à l'étale, ou même a déjà commencé à descendre, que le niveau s'établit dans chaque section transversale.

Pendant la période de décrue, un effet analogue se produit ; le niveau de l'eau baissant plus vite dans le lit du fleuve que sur les bords de la vallée, il s'établit alors des courants transversaux de sens contraire à ceux qui avaient lieu pendant la période de croissance.

La comparaison des crues de 1888 et 1890 donne une juste idée de la modification qu'apporte aux crues le vaste emmagasinement ainsi produit. Ainsi, la hauteur de la crue de décembre 1890 a été à Gamboa de 0^m,30 au-dessus de celle de 1888, tandis qu'au contraire à Tavernilla elle a été de 0^m,50 et à Bohio près d'un mètre inférieure à la côte atteinte par cette même crue.

La crue de 1890 ayant été de courte durée, n'a pas fourni un volume suffisant pour remplir l'énorme réservoir dont le débit sortant a été, par suite, toujours inférieur au débit entrant, tandis que la crue de 1888, quoique plus faible, ayant duré beaucoup plus longtemps a pu élever davantage le niveau du lac formé à Tavernilla et produire à la sortie un débit beaucoup plus fort qu'en 1890.

Enfin, il est bon de remarquer que la vitesse de propagation des hauteurs maxima dans les différents points de la vallée, n'est en somme que peu considérable. Ainsi en 1890, le maximum a été observé à Gamboa le 1^{er} décembre à 8 heures du soir, à Gorgona, le 2 à 1 heure du matin, à San-Pablo à 5 heures, à Tavernilla à 10 heures et enfin à 1 heure 20 du soir à Bohio, ce qui fait 17 heures 20 pour parcourir une distance de 25 kilomètres, en tenant compte des sinuosités de la rivière, et ne donne qu'une vitesse moyenne de :

$$\frac{25,000}{17^h20} = 0^m,40 \text{ par seconde.}$$

Cette vitesse ne doit d'ailleurs pas être confondue avec la vitesse de propagation du commencement de la crue qui est beaucoup plus grande. Celle-ci est en effet sensiblement la même que la vitesse moyenne du courant au moment où la crue se produit et est en général d'autant plus grande que le niveau de la rivière est lui-même plus élevé. Quant à la vitesse moyenne du courant elle varie, entre

Gamboa et Bohio, de 0^m,70 environ, à l'étiage, à 2^m,50 ou 3 mètres, au plus, pendant les plus grandes crues.

Les considérations qui précèdent faisant, croyons-nous, suffisamment connaître le régime actuel des eaux de la vallée du Chagres ; nous allons maintenant examiner, à l'aide des formules ordinaires de l'hydraulique, de quelle manière il est probable que les choses se passeront après le barrage de cette vallée et comment on pourra en tirer les indications nécessaires pour l'établissement des ouvrages régulateurs du niveau du lac.

La surface du lac étant supposée de 9,000 hectares et sa longueur étant de 35 kilomètres, sa largeur moyenne sera de

$$\frac{90.000.000}{35,00} = 2 \text{ k. } 500 \text{ en nombre rond.}$$

D'autre part, nous croyons pouvoir évaluer à environ 7^m,70 la profondeur moyenne, de sorte que la section moyenne d'écoulement serait égale à :

$$2500 \times 7.70 = 19000^{\text{m}^2} \text{ environ}$$

Par suite, la vitesse moyenne avec laquelle on peut estimer qu'un débit de 2,500 mètres se propagerait, serait de :

$$\frac{2500}{19000} = 0^{\text{m}}13$$

et le temps qu'il emploierait pour arriver à Bohio serait égal à

$$\frac{35000}{0.13} = 269230 \text{ secondes}$$

soit environ à 3 jours et 3 heures.

Si l'on suppose un poste télégraphique établi à Alhajuela, c'est-à-dire à l'entrée du lac, et correspondant avec Bohio, on voit qu'il sera facile d'annoncer les crues longtemps à l'avance. On pourra alors ouvrir immédiatement les orifices d'écoulement, de façon à rendre disponible un certain volume qui s'ajoutera à celui produit par les 50 centimètres de la retenue maxima au-dessus du niveau normal et qui servira comme lui à emmagasiner la partie du débit supérieure à celle que doivent laisser passer les déversoirs.

Pour éviter la gêne que pourrait apporter à la navigation l'introduction d'une trop grande quantité d'eau dans le bief maritime, qui doit être utilisé par l'écoulement, nous limiterons ce débit sortant du lac au chiffre maximum de 1,000 mètres cubes par seconde, ce qui ne produira dans le canal et les dérivations rive gauche, seules conservées, qu'un courant de 1^m,30 par seconde et qu'une surélévation de niveau de 2 mètres au kilomètre : 21.500.

Si maintenant nous supposons une crue aussi rapide que celle de 1890, c'est-à-dire montant avec une vitesse de 0^m,50 à l'heure, elle

atteindra le débit fixé plus haut de 2,500 mètres cubes au bout de 20 heures environ. Nous avons vu que ce débit maximum pourrait être signalé plus de 3 jours avant son arrivée, en admettant que ce signal ne fut donné qu'au moment même où ledit maximum est atteint au point où est établi l'observatoire. Le commencement de la crue ayant lieu 20 heures avant, elle pourra donc être signalée à Bohio environ 4 jours avant l'arrivée du débit maximum en ce dernier point.

Si l'on ouvre les orifices d'écoulement immédiatement après réception de cet avis, le volume d'eau qui s'écoulera du réservoir entre ce moment et celui où le débit atteindra 1000 mètres cubes sera de (1) :

$$(3 \text{ j. } 3 \text{ h. } + 8 \text{ h.}) 1000 = 298.800'' \times 1000 = 298.800.000^{\text{m}^3}$$

Mais pour avoir le vide réel procuré par cette ouverture anticipée des vannes, il faut retrancher de ce volume celui qui s'est emmagasiné pendant ce même laps de temps. Or ce dernier volume comprend celui fourni par le débit qu'avait le Chagres avant le commencement de la crue, et que nous supposerons égal à 100 mètres cubes, et celui débité par la première partie de la crue qui sera en moyenne égal à

$$\frac{100 + 1000}{2} = 550^{\text{m}^3}$$

Le premier débit ayant lieu pendant une période de 3 jours 3 heures ou 270,000 secondes fournira un volume de :

$$270\,000 \times 100 = 27.000.000^{\text{m}^3}$$

tandis que le débit de 550 mètres cubes n'ayant lieu que pendant 8 heures ou 28,800 secondes fournira un volume de :

$$28800 \times 550 = 15.840.000$$

Ce qui donne pour volume emmagasiné :

$$27.000.000 + 15.840.000 = 42.840.000^{\text{m}^3}$$

Le volume qui sera réellement devenu libre dans le réservoir sera donc égal à :

$$298.800.000 - 42.800.000 = 256.000.000^{\text{m}^3}$$

et ce volume s'ajoutera aux 45.000.000 de mètres cubes provenant de la réserve de 0^m,50 de hauteur, sur une surface de 9.000 hectares, pour former un total de 301.000.000 de mètres cubes qui devra être suffisant pour recevoir la partie de la crue qui correspondra à un débit supérieur à 1.000 mètres cubes.

Or, pendant la crue de 1890, le temps pendant lequel le Chagres a débité à Bohio, un volume supérieur à 1.000 mètres cubes par seconde, a été de 44 heures. Si, comme nous l'avons dit, nous suppo-

(1) Le débit passant de 100^m à 2.500 en 20 heures aura atteint 1.000^m en 8 heures environ.

sons une crue de durée double et atteignant 2,500 mètres cubes par seconde, le volume à emmagasiner sera de (1) :

$$\frac{2.500 - 1000}{2} \times 2 \times 24 \text{ h.}$$

ou :

$$750 \times 316800'' = 237.600.000 \text{ mètres cubes}$$

c'est-à-dire notablement moindre que celui qui a été préparé par l'ouverture anticipée des déversoirs.

On pourrait donc s'abstenir de conserver une réserve libre de 0^m,50, et nous croyons qu'au bout d'un certain temps d'exploitation on ne s'astreindra pas à la ménager, mais nous estimons que dans les deux premières années elle sera utile pour bien étudier le régime du réservoir et pour parer à toute éventualité.

On ne peut sans doute accorder au calcul grossier qui précède qu'une approximation relative ; mais on conviendra que, tel qu'il est, il donne une idée suffisante de la manière dont il est probable que les choses se passeront.

La complexité du phénomène et l'insuffisance des renseignements rendent d'ailleurs impossible l'établissement d'un calcul rigoureux. Du reste, les hypothèses dont nous avons déduit les chiffres précédents, paraissent nous donner toute sécurité, car nous avons négligé l'emmagasinement qui se produira dans le lit du fleuve, en amont du lac, ainsi que dans ceux des affluents par suite du remous, et de plus à cause de l'irrégularité de la vallée, composée de rétrécissements et d'élargissements, l'écoulement se fera certainement plus lentement que nous ne l'avons admis en supposant que cet écoulement aurait lieu par une section moyenne uniforme. On disposera donc en réalité d'un temps plus considérable, entre le moment où la crue sera signalée et celui où elle arrivera à Bohio, ce qui permettra de faire encore un plus grand vide dans le réservoir en ouvrant les vannages plus longtemps à l'avance.

On pourrait croire qu'il sera difficile de savoir à quel moment précis on devra effectuer la fermeture de ces appareils. Pour comprendre qu'il n'y a là aucune difficulté, il suffit de remarquer que, à l'aide de l'observatoire établi à l'entrée du lac, on pourra connaître les débits entrant dans le lac, et que, connaissant d'autre part à chaque instant les débits sortant par les déversoirs, il sera

1. Ce débit de 2500^m est supposé n'avoir lieu qu'au moment de l'étalement dont on admet que la durée est négligeable. En admettant en outre que pendant les périodes de croissance et de décroissance le volume varie d'une façon sensiblement régulière on voit que la fraction du débit moyen qui doit être emmagasinée pendant tout le temps que ce débit dépasse 1000^m est égale à :

$$\frac{0 + 1500}{2} \text{ ou } \frac{2500 - 1000}{2}$$

facile de savoir à quel moment le volume de la crue sera totalement écoulé.

Dans tout ce qui précède, nous avons négligé de parler des affluents qui cependant peuvent avoir des crues isolées. Nous ne croyons pas qu'aucun de ces cours d'eau puisse atteindre un débit de plus de 150 mètres cubes, et on comprend que le volume ainsi fourni ne peut avoir qu'une influence insensible sur le niveau du lac.

Même avec un débit de 2500 mètres cubes, qui serait tout entier emmagasiné, les dénivellations seraient très lentes, puisqu'elles ne dépasseraient pas 0^m,40 à l'heure,

Dans le cas où le réservoir se viderait avec un débit de 1000 mètres à la seconde, et sans rien recevoir, son niveau s'abaisserait de 0^m,4 par heure; tandis que, dans la période d'emmagasinement du maximum de la crue, c'est-à-dire pendant qu'il débiterait 1000 mètres cubes et en recevrait 2500, ce niveau monterait de 0,06 par heure.

Grâce à ces faibles dénivellations, et au temps considérable dont on disposera pour effectuer la levée des vannes, nous croyons qu'il sera inutile de recourir à des appareils automobiles et encore moins à un déversoir fixe qui aurait l'inconvénient de ne donner qu'un faible débit par rapport à son développement.

L'écoulement du lac se fera par deux barrages mobiles identiques, situés de chaque côté du canal, et qui pourront débiter chacun, à la seconde, 500 mètres cubes. La largeur de la partie mobile de chacun de ces barrages pouvant être de 100 mètres, il semble au premier abord qu'on pourrait les composer de vannes de 2 mètres de hauteur, du genre de celles préconisées par la Commission. Le débit ainsi obtenu serait en effet, d'après la formule du déversoir:

$$Q = 0.40 \text{ th } \sqrt{2gh}$$

dans laquelle:

$$l = 100^m$$

$$h = 2^m00$$

$$g = 9.81$$

égal à 500 mètres cubes.

Mais il faut remarquer que le débit sortant du lac doit être constant, tandis que son niveau s'abaissera pendant l'ouverture anticipée des vannes. Les 256.000.000 de mètres que l'on évacuera ainsi produiront un abaissement de niveau de 2^m,83 :

$$\frac{256.000.000}{90.000.000} = 2.83$$

et l'on voit que cette condition conduirait, pour conserver une hauteur constante à la lame déversante, à donner aux vannes 4^m,83 de hauteur, ce qui nous paraît incompatible avec leur mode de construction.

Dans ces conditions, nous croyons qu'il y aura lieu d'adopter un

genre de barrage analogue à celui de Poses-sur-Seine, qui est assez connu pour que nous n'ayons pas à le décrire ici. Ce système n'a plus l'avantage d'être mis en mouvement par la chute elle-même et il demande des manœuvres assez pénibles pour le relevage des rideaux et des poutrelles dont il se compose. Mais, étant donné la force motrice dont on dispose à proximité, ces manœuvres pourront être exécutées mécaniquement et avec facilité, et l'on ne sera pas assujéti à se confier à des appareils constamment immergés. La partie mobile de ce barrage n'est en effet que simplement suspendue dans l'eau et son ouverture se fait en la ramenant au-dessus de l'eau par une rotation de 90° autour de son point d'appui supérieur, ce qui en permet la visite et les réparations.

Ce système se prête d'ailleurs merveilleusement à de très grandes hauteurs de retenue et, comme dans le cas qui nous occupe nous avons à débiter un volume constant avec un niveau variable, on conçoit que cet effet sera facilement obtenu en ne relevant qu'un plus ou moins grand nombre des cadres qui produisent la retenue et qu'on restera toujours maître de l'écoulement de l'eau.

Nous adopterons donc pour chacun des deux barrages une longueur de 90 mètres, divisée en trois travées séparées par des piles supportant les poutres d'appui des cadres de fermeture, ainsi que la passerelle de service, et une hauteur de 5^m,00 au-dessous du niveau normal du lac, c'est-à-dire de la cote 32,50. Avec cette disposition, lorsque, par suite de l'ouverture anticipée des vannes, le niveau du lac aura baissé de 2^m,83, il restera encore une lame déversante de 2^m,17 qui, d'après la formule ci-dessus, est suffisante pour assurer l'écoulement du débit de 500 mètres cubes.

Les eaux évacuées par les déversoirs seront reçues dans les dérivations et dans le canal lui-même. Celles du déversoir de gauche tomberont d'abord dans l'ancien lit du Chagres, puis dans la nouvelle dérivation rive gauche n° 3, éloignée, comme nous l'avons dit dans le chapitre précédent, de l'axe du canal, et enfin continueront par l'ancien lit du Chagres et les autres dérivations, tout en se mêlant aux eaux du canal à partir du kilomètre 21,850.

Quant à celles provenant du déversoir situé à droite de l'axe du canal, elles chemineront d'abord dans la première partie de l'ancienne dérivation rive droite, puis dans l'ancien lit du Chagres, pour se mêler aux eaux du canal au kilomètre 21,850. Nous croyons inutile de terminer la dérivation rive gauche n° 3, dans laquelle il reste encore beaucoup à faire, car les sections du canal et des dérivations rive gauche sont parfaitement suffisantes pour que l'écoulement des 1000 mètres cubes, débités par les déversoirs, ne cause aucune gêne à la navigation, puisque le courant produit par ce débit ne dépassera pas 1^m,30 à la seconde.

L'ouverture de cette dérivation aurait d'ailleurs l'inconvénient de donner une section d'écoulement trop grande et dans laquelle les eaux n'auraient en temps ordinaire qu'une vitesse insensible. Dans l'intervalle des grandes crues qui, comme on sait, ne se produisent qu'à des périodes de plusieurs années, la végétation tendrait à envahir le lit, sinon du canal, où le mouvement des bateaux produira toujours une agitation suffisante pour empêcher cet effet, du moins des deux dérivations, de sorte que, lorsqu'une grande crue se produirait, cette végétation opposerait un obstacle à l'écoulement et provoquerait des débordements.

Enfin, nous ajouterons que, de même que la Commission, nous avons pensé qu'il était absolument inutile d'isoler les eaux du canal de celles des dérivations à l'aide de digues plus ou moins coûteuses.

Les explications qui précèdent justifient, croyons-nous, entièrement cette manière de voir, qui permet de ne donner à ces dérivations qu'un débouché beaucoup plus faible que si elles devaient seules concourir à l'écoulement des eaux débitées par les déversoirs.

2° Aménagement des eaux du bief de partage.

Nous avons dit que le bief de partage mettrait en communication les lacs obtenus à ses deux extrémités en fermant les vallées de l'Obispo et du Rio Grande, et que ces lacs serviraient, non seulement à la création d'une réserve d'eau capable de parer aux accidents qui pourraient arriver aux machines, mais encore qu'il faciliteraient l'aménagement des eaux supérieures. Cette nappe d'eau devant se maintenir entre les côtes 49 et 52, ne sera rencontrée par les divers ruisseaux qu'à une assez grande distance de l'axe navigable et elle aura pour effet d'amortir leurs courants, de façon qu'en aucun cas ils ne puissent contrarier la navigation, et, en même temps, de provoquer le dépôt des matières qu'ils charrient, ou qu'ils tiennent en suspension, loin de la cuvette du canal proprement dit.

De tous ces rios, l'Obispo est le seul qui rencontre le lac assez près de la cuvette navigable et a une altitude un peu supérieure, et il sera facile d'empêcher que l'introduction de ses eaux ne cause aucune gêne en le recevant d'abord dans un bassin de décantation, où son courant se détruira et où il déposera ses apports.

Il sera donc inutile d'avoir recours aux ouvrages coûteux que la Commission avait été obligée d'employer pour introduire dans la cuvette du canal les eaux des divers ruisseaux qui, dans son hypothèse, en étaient séparés par une grande différence de niveau.

D'après la petite carte annexée au rapport de la Commission, on pourrait croire que le seul barrage que nous avons prévu à Bas-Obispo ne sera pas suffisant pour retenir les eaux du lac supérieur et qu'il existe, derrière le cerro sur lequel s'appuie la droite de ce barrage, un sol plus bas que la côte 37^m,50, c'est-à-dire que le niveau maximum de la retenue adoptée par ladite Commission. Nous avons pu vérifier nous-même que cette carte est erronée en ce point et que l'altitude de ce col dépasse la côte 55.

Le niveau normal du lac supérieur sera donc à la côte 51^m,50, réservant ainsi une hauteur libre de 0^m,50 pour l'aménagement des eaux pluviales et une hauteur de 2^m,50 au-dessous du niveau minimum, servant à l'emmagasinement d'un volume d'eau suffisant pour assurer, sans le secours des machines élévatoires, la navigation la plus intensive pendant 14 jours.

Nous verrons, en effet, que la consommation d'eau totale du bief de partage, pendant la saison sèche et au moment où le trafic atteint son maximum, et de 13.130 litres par seconde, soit :

$$13.130 \times 86.400 = 1.144.532^{\text{m}^3}$$

par 24 heures.

D'autre part, la tranche de 2^m,50 de hauteur sur toute la surface du lac, qui est de 634 hectares, contient un volume égal à :

$$6.340.000 \times 2,50 = 15.850.000^{\text{m}^3}$$

et par suite peut suffire à l'alimentation journalière pendant :

$$\frac{15.850.000}{1.144.532} = 14 \text{ jours}$$

D'après les derniers jaugeages faits sur les rios Grande et Obispo, il résulterait que le plus grand débit constaté pour l'ensemble de ces rios s'élèverait à environ 150 mètres cubes à la seconde. La durée de ces crues étant de très courte durée, leur volume total pourrait sans doute tenir dans la réserve de 0^m,50 de hauteur, conservée libre sur toute la surface du lac, et permettant par suite d'emmagasiner un volume de :

$$6.340.000 \times 0,50 = 3.170.000^{\text{m}^3}$$

Néanmoins, nous admettrons que deux vannes de fond du genre de celles employées pour le remplissage des écluses, seront établies dans le barrage de Bas-Obispo à 15 mètres au-dessus de la retenue, et pourront débiter chacune, avec un diamètre de 2^m80, un volume donné par la formule :

$$Q = \frac{\pi \times 2.80^2}{4} \times K \sqrt{2g \times 15}$$

dans laquelle :

$$\pi = 3,1416.$$

et K est un coefficient de contraction égal à 0,80,
c'est-à-dire :

$$2 Q = 150^{\text{m}^3} \text{ environ}$$

On pourra donc ainsi maintenir le niveau du lac constant, même pendant les plus fortes crues, et, s'il s'en produisait de plus grandes que celles constatées jusqu'ici, leur excédent trouverait facilement place dans la réserve ci-dessus indiquée. Rien n'empêcherait d'ailleurs d'augmenter le débit des vannages en agissant, soit sur leur diamètre, soit sur leur profondeur.

Le niveau des petits lacs du Pacifique sera régularisé de la même manière, à l'aide de bondes de fond, mais la dimension de ces orifices sera alors très restreinte, car ces lacs ne reçoivent aucun rio important.

Nous croyons qu'il sera préférable d'employer des bondes de fond pour tous ces ouvrages régulateurs, au lieu de déversoirs de superficie qui ont l'inconvénient de ne donner qu'un faible débit pour un grand développement. Ces vannes demandent, il est vrai, l'intervention de gardiens préposés à leur manœuvre, mais, étant donné la proximité des emplacements où elles sont situées et des écluses qui nécessiteront un personnel nombreux et permanent, nous ne voyons là aucune difficulté. Il faudra seulement placer les orifices d'écoulement de façon à ce que l'eau, qu'ils débiteront avec une vitesse considérable, ne puisse en aucun cas nuire aux barrages en terre qui seront généralement placés à côté.

Il suffira d'ailleurs pour cela de prolonger les conduites sur une assez grande distance à l'aval.

CHAPITRE IV

OUVRAGES D'ART

Les immenses terrassements du massif central étant réduits à des proportions qui n'ont plus rien d'extraordinaire, les seules difficultés sérieuses, qui resteront à vaincre, résideront dans la construction des ouvrages d'art et, plus particulièrement, dans l'exécution du grand barrage de Bohío.

La Commission d'études a fait justice des appréciations pessimistes et erronnées émises souvent au sujet de la qualité des matériaux existant dans l'isthme et des difficultés qu'il y aurait à se procurer une main-d'œuvre convenable. Elle a reconnu qu'il existait, sur toute la ligne du canal, des matériaux d'excellente qualité pour maçonnerie de moellons et béton et que la plage de Panama pouvait fournir du bon sable en quantité illimitée. Elle a constaté en outre que, tout le long du canal, il existe des ouvrages en maçonnerie très bien exécutés et dans un état de conservation remarquable, qu'elle attribue au climat et à la constance de température régnant dans le pays.

Nous croyons même pouvoir aller plus loin et dire que, grâce à cette constance de température, qui se maintient entre 16 et 40°, les maçonneries, toutes choses égales d'ailleurs, nous paraissent présenter plus de solidité qu'en Europe, où elles ont à supporter, non seulement les effets dus à des écarts de température beaucoup plus grands, mais encore ceux de la gelée qui tendent à les disloquer et à les détruire, pour peu qu'elles présentent quelques cavités ou quelques infiltrations.

De plus, nous avons la conviction qu'il est parfaitement possible d'exécuter dans l'isthme de la maçonnerie aussi soignée que dans tout autre pays. Il suffira pour cela de savoir faire les sacrifices nécessaires pour y attirer de bons surveillants et de bons maçons européens, et nous croyons, qu'en leur offrant un prix suffisamment rémunérateur, on n'en manquera pas, surtout étant donné la crise qui sévit actuellement sur l'industrie du bâtiment.

S'il est pour ainsi dire impossible aux Européens de faire un travail manuel en étant exposés aux intempéries de l'isthme, ils peuvent néanmoins fournir sans danger leur travail habituel dans des endroits abrités contre la pluie et le soleil.

Or, la nécessité de pouvoir travailler en toute saison, obligera de recouvrir d'un abri provisoire tous les grands chantiers où s'exécute-

teront des maçonneries. Dans ces conditions, nous avons la conviction que l'on pourra employer aussi facilement des maçons européens que l'on a déjà pu recruter des mécaniciens de même provenance pour travailler dans les ateliers de l'ancienne Compagnie.

Nous estimons par suite qu'il sera préférable de se servir exclusivement de maçons expérimentés et de ne recourir aux noirs jamais, qui, ainsi que l'a dit la Commission, peuvent faire de bons ouvriers, que lorsqu'ils auront eu le temps d'acquérir toute l'expérience et l'habileté nécessaires. De cette façon, on pourra obtenir des maçonneries absolument comparables à celles qui existent en France, puisqu'elles auront été construites avec les mêmes matériaux et les mêmes ouvriers.

Nous diviserons ce chapitre en trois parties :

- 1° Les écluses ;
- 2° Les barrages ,
- 3° La déviation du Panama Rail Road.

1° *Ecluses*

Nous avons déjà dit que les dimensions que nous avons adoptées pour les écluses étaient les mêmes que celles prévues par la Commission d'études, c'est-à-dire 11 mètres de chute, 8^m,50 de mouillage, 180 mètres de longueur utile et 20 mètres de largeur.

Nous avons cru préférable de n'avoir qu'un seul type d'écluses et c'est pour cela que nous avons rejeté les écluses de 8 mètres de chute. La capacité de fréquentation du canal reste la même et la hauteur ainsi gagnée permet de diminuer d'autant la profondeur de la grande tranchée.

Étant donnée la modification sensible apportée au mode de construction des portes, les approvisionnements existant dans l'isthme pourront aussi bien être utilisés dans un cas cas comme dans l'autre. D'ailleurs, en prévision de ce que cette utilisation pourrait ne pas être avantageuse, nous avons établi notre évaluation des dépenses en supposant qu'elle n'ait pas lieu.

Nous rappellerons ici que la Commission a décomposé la durée d'occupation d'un sas, par le passage d'un bateau, de la manière suivante, pour une écluse de 11 mètres de chute :

1° Entrée du navire dans le sas	9 minutes
2° Fermeture des portes d'entrée	7 »
3° Remplissage du sas	24 »
4° Ouverture des portes de sortie	7 »
5° Sortie du navire	9 »
6° Fermeture des portes de sortie	7 »
7° Vidange du sas	24 »
8° Ouverture des portes d'entrée	7 »
Total	<u>94 minutes</u>

Temps auquel il convient d'ajouter 14 minutes pour battements et pertes de temps, à raison de 2 minutes pour intervalle entre chaque manœuvre, ce qui fait un total de 108 minutes, soit environ 1 h. 3/4.

On remarquera que les trois dernières opérations ont pour but de remettre les choses en leur état initial et qu'elles s'effectuent après que le navire a cessé d'occuper le sas. Pour avoir la durée réelle de la traversée d'une écluse par un bateau, il faut retrancher du chiffre ci-dessus la durée de ces trois opérations et de trois battements, ce qui donne seulement 1 heure 4 minutes.

Malgré toute l'autorité qui s'attache à des chiffres donnés par une réunion d'ingénieurs éminents, on nous permettra d'exprimer l'avis que ces chiffres peuvent être notablement réduits, particulièrement celui qui concerne la durée de remplissage et de vidange des sas.

La Commission a en effet déterminé ce dernier chiffre en s'imposant une vitesse ascensionnelle maximum de $0^m,0075$ par seconde, soit $0^m,45$ par minute. Or, cette vitesse, qu'il serait dangereux de dépasser avec des écluses se remplissant avec des ventelles logées dans les portes, peut être plus que doublée sans aucun inconvénient avec le mode de remplissage que nous avons adopté et qui consiste dans l'emploi d'aqueducs régnant sur toute la longueur du sas et distribuant l'eau simultanément en tous ses points.

La cause pour laquelle on est obligé, dans le système de remplissage et de vidange par les portes, de ne laisser aux bateaux qu'une vitesse ascensionnelle très faible, est due à ce que le courant longitudinal qui s'établit leur imprime un mouvement alternatif et tend à les projeter tour à tour sur les portes d'aval ou d'amont. Au contraire, si le sas reçoit ou perd son eau d'une façon pour ainsi dire uniformément répartie sur toute sa surface, ces mouvements oscillatoires n'ont pas lieu et le mouvement vertical se fait sans secousses.

Il existe d'ailleurs de nombreuses écluses remplies par ce dernier procédé et où les bateaux sont soumis à des vitesses verticales beaucoup plus considérables que celle à laquelle a cru devoir s'arrêter la Commission.

Ainsi, aux nouvelles écluses du canal Saint-Denis, dont la chute est de $2^m,80$, le remplissage du sas se fait en 3 minutes 44 secondes, ce qui donne une vitesse ascensionnelle de $0^m,012$ par seconde ou $0^m,72$ par minute.

Aux nouvelles écluses du canal du Centre, qui ont 5 mètres 20 de chute, le remplissage se fait en 3 minutes 10 secondes, c'est-à-dire avec une vitesse verticale de $1^m,64$ par minute.

Pour les écluses de $2^m,60$ de chute du même canal, le remplissage se fait en 2 minutes, avec une variation qui ne dépasse pas 5 ou 6 secondes, en plus ou en moins.

Enfin, aux écluses de la Weaver canalisée, en Angleterre, le rem-

plissage se fait en 2 minutes avec une hauteur de chute de 4^m,50, et, malgré la rapidité de cette opération, la tranquillité des bateaux est telle qu'il est à peine besoin de les amarrer.

Dans l'avant-projet du canal du Nord, qui a été approuvé par le conseil général des ponts et chaussées, on avait adopté des écluses de 4 mètres de chute, se remplissant en 2 minutes, et dont la manœuvre des portes, faite à l'eau comprimée, devait se faire en 30 secondes.

Nous croyons que ces exemples suffisent pour démontrer qu'il n'est pas téméraire d'espérer obtenir le remplissage et la vidange des sas dans un laps de temps moitié moindre que celui qu'a indiqué la Commission et nous pensons même qu'il sera possible de réaliser encore plus rapidement cette opération.

On verra d'ailleurs que le système de remplissage adopté jouit de toute l'élasticité désirable pour permettre d'opérer cette manœuvre dans le délai qu'on se sera fixé à l'avance.

Enfin, nous croyons aussi qu'il sera possible de réaliser, mais dans une proportion beaucoup plus faible, une certaine économie de temps sur les autres manœuvres.

Malgré ce qui précède et pour rester fidèle à notre programme, qui est de ne pas nous écarter des conclusions admises par la Commission, tout en faisant nos réserves, nous supposons que la durée d'une éclusée sera d'une heure trois quarts et que, par suite, il ne sera possible de faire que 13 écluses en 24 heures.

Dans ces conditions, et quand bien même la nécessité de ne pas interrompre la navigation en cas d'avarie à une écluse n'y aurait pas déjà conduit, il devient indispensable de doubler toutes les écluses. Ainsi que l'a fait remarquer la Commission « *on s'exposerait aux mécomptes les plus graves, si l'on cherchait à déterminer la capacité de trafic du canal, d'après le nombre possible des éclusées dans chaque journée.* » En effet, la fréquentation ne restera pas uniforme pendant toute l'année et, à certains moments, elle pourra atteindre le double ou le triple de la moyenne. Aussi, pour tenir compte de cette éventualité, on réduira de moitié la puissance des écluses et on remédiera à cet inconvénient par le doublement des sas, de façon à permettre de faire 26 éclusées par journée de 24 heures.

En comptant, comme l'a fait la Commission, sur 1853 tonnes pour chiffre moyen de tonnages des navires qui transiteront par le canal, et en ne supposant que 320 jours de navigation, il en résultera que les écluses pourront desservir un trafic de :

$$2 \times \frac{1}{2} \times 13 \times 1853 \times 320 = 7.708.480 \text{ tonnes.}$$

c'est-dire supérieur au maximum que, d'après la Commission d'Etudes, le canal sera appelé à desservir.

Nous arrivons au mode de remplissage et de vidange des sas qui, comme nous l'avons déjà dit, constitue une des particularités de notre projet.

Ainsi que la Commission, nous avons adopté le principe choisi par l'ancienne Compagnie et qui consiste à diviser le plus possible la masse d'eau à introduire ou à retirer du sas.

Pour cela, on emploie deux immenses tuyaux en fonte de 2^m,80 de diamètre, ayant leur origine dans le bief d'amont, à environ 12 mètres de la porte qui limite ce bief, traversant toute la longueur du sas, et allant aboutir dans le bief aval, à 15 mètres plus loin que la porte. Ces tuyaux sont percés de 2 mètres en 2 mètres d'orifices de 40 centimètres de diamètre par lesquels l'écoulement de l'eau est réparti sur une très grande surface, ce qui évite les mouvements tumultueux qui pourraient être nuisibles aux navires. Ils sont logés dans des aqueducs creusés dans le radier de l'écluse et dans des chambres ménagées dans les bajoyers d'aval et d'amont où ils viennent aboutir. Enfin, ils reçoivent l'eau à l'aide de vannes cylindriques, du genre de celles employées au Canal du Centre et que nous croyons inutile de décrire ici.

Le prix de revient de ces tuyaux étant assez élevé, il y aura lieu d'étudier si, dans certains cas, il ne sera pas préférable de les remplacer par des aqueducs en maçonnerie. Ces aqueducs ne devront pas être logés sous les bajoyers, parce qu'alors ils auraient l'inconvénient de diminuer leur résistance, mais avoir une disposition analogue à celle indiquée pour les tuyaux en fonte.

La disposition que nous venons d'indiquer est celle qui s'applique à une écluse simple. Dans le cas de deux écluses, on conçoit qu'elle doit être légèrement modifiée; cependant le rapport de la Commission est muet à ce sujet et il se borne à dire que « *elle ne voit aucune raison pour modifier les dispositions antérieurement projetées qui, sauf étude de détail plus complète, lui semblent très satisfaisantes.* »

Nous avons profité du groupement de quatre écluses ensemble pour réduire de moitié la consommation d'eau dans le cas où il se présentera simultanément à la même échelle un bateau montant et un bateau descendant, ce qui sera d'ailleurs le cas général. Pour cela, il suffit de faire remplir le sas d'aval de gauche par l'eau provenant du sas d'amont de droite, et inversement le sas aval de droite par l'eau du sas amont de gauche. Les figures de la planche IV indiquent comment cet effet est obtenu par la disposition des tuyaux et des vannes.

Supposons un bateau montant se présentant devant l'écluse n° 2 qui est vide, et un bateau descendant se présentant devant l'écluse 3 bis qui est pleine. Ces bateaux étant entrés dans leurs écluses respectives et les portes étant fermées, on ouvre les vannes α' et ν' , et

l'écluse 3 *bis* se vide dans l'écluse 2. On ferme alors les vannes, on ouvre les portes intermédiaires et le bateau montant passe dans l'écluse 3 qui est vide, en même temps que le bateau descendant passe dans l'écluse 2 *bis* qui est supposée pleine. Fermant alors les portes intermédiaires, on ouvre les vannes o'p' et mn, afin de vider l'écluse 2 *bis* dans le bief d'aval et de remplir l'écluse 3 avec l'eau du bief d'amont.

En ouvrant la porte d'aval de 2 *bis* et la porte amont de 3, on reçoit les navires dans les biefs adjacents et l'on peut recommencer la même opération en employant à la descente l'échelle d'écluses qui vient de servir à la montée et réciproquement.

On a donc monté et descendu un navire avec une seule sassée, celle de 2 *bis*, c'est-à-dire consommé demi-sassée pour chaque bateau, tandis que dans le mode de remplissage ordinaire, on consomme une éclusée entière.

Si l'on examine la durée du passage d'un bateau dans une échelle d'écluses, en admettant pour chaque manœuvre la durée fixée par la Commission d'études, on voit qu'elle peut se représenter par le tableau suivant :

<i>Bateau montant</i>	<i>Minutes</i>	<i>Bateau descendant</i>
1° Entrée en 2.	9	Entrée en 3 bis.
2° Fermeture de la porte aval . . .	7	Fermeture de la porte amont.
3° Remplissage.	24	Vidange.
4° Ouverture de la porte intermédiaire	7	Ouverture de la porte intermédiaire.
5° Sortie de 2 et entrée en 3. . . .	9	Sortie de 3 bis et entrée en 2 bis.
6° Fermeture de la porte intermédiaire	7	Fermeture de la porte intermédiaire.
7° Remplissage.	24	Vidange.
8° Ouverture de la porte amont. . .	7	Ouverture de la porte aval.
9° Sortie de 3	9	Sortie de 2 bis,
Total.	1 h.43	

Si à cette durée nous ajoutons 2 minutes par intervalle entre chaque manœuvre, soit 16 minutes, nous obtiendrons 1 heure 59 minutes pour la durée totale de la traversée d'une échelle d'écluses, tandis que nous avons vu que celle d'une écluse simple est de 1 heure 4 minutes. On gagne donc en somme 9 minutes, en plaçant deux écluses à la suite l'une de l'autre, ce qui était d'ailleurs évident *a priori*, puisque la sortie du premier sas et l'entrée dans le second ne font qu'une seule et même manœuvre.

Il faut bien remarquer que cette durée de traversée est, dans le cas considéré, celle qui limite le nombre de bateaux pouvant franchir l'échelle d'écluses dans la même journée. On ne pourra donc faire que 24 éclusées par jour au lieu de 26 comme avec des écluses simples ; mais, d'après ce qui a été dit précédemment, on comprend que

ce nombre est encore plus que suffisant pour assurer le passage du trafic que le canal est appelé à desservir.

La simple inspection du dessin montre que le système de remplissage que nous avons décrit s'applique aussi bien au cas où, au lieu d'avoir à manœuvrer simultanément un bateau montant et un bateau descendant, on n'aurait que des bateaux marchant dans le même sens. Dans ce cas, la durée de la traversée reste bien la même, mais le nombre de bateaux qui peuvent franchir l'échelle d'écluses est augmenté, ainsi que le montre le tableau suivant dans lequel on a supposé deux bateaux montant.

<i>Echelle 2-3</i>	<i>Minutes</i>	<i>Echelle 2 bis 3 bis.</i>
Entrée du navire en 2.	9	Entré du navire en 2 bis
Fermeture de la porte aval	7	Fermeture de la porte aval
Remplissage du sas par l'ouverture des vannes u' v' et la vidange du 3 bis.	24	Remplissage du sas par l'ouverture des vannes u, v, et la vidange de 3.
Ouverture de la porte intermédiaire.	7	Ouverture de la porte intermédiaire
Sortie de 2 et entrée en 3.	9	Sortie de 2 bis et entrée en 3 bis
Fermeture de la porte intermédiaire.	7	Fermeture de la porte intermédiaire
Remplissage de 3 par ouverture de m et n et la fermeture de u et v et en même temps vidange de 2 par ou- verture de o et p	24	Remplissage de 3 bis par ouverture de m' et n' et la fermeture de u' et v' et en même temps vidange de 2 bis par ouverture de o' et p'
Ouverture de la port amont de 3 et en même temps de celle d'aval de 2 .	7	Ouverture de la porte amont de 3 bis et en même temps de celle d'aval de 2 bis.
Sortie du navire de 3 en même temps que navire suivant entre en 2.	»	Sortie du navire de 3 bis en même temps que navire suivant entre en 2 bis.
Total.	1 h. 34	

soit, en y ajoutant 14 minutes pour battements, 1 heure 48 minutes (1).

Dans ce cas, il sera possible de faire 26 éclusées par journée de travail de 24 heures, mais alors la consommation d'eau sera d'une sassée par bateau, c'est-à-dire double que dans le cas précédent.

Enfin, si l'on voulait employer les échelles d'écluses à la manœuvre simultanée de deux bateaux marchant dans le même sens, alternant avec deux navires marchant en sens contraire, la durée de la traversée serait de 2 heures, comme dans le premier cas, tandis que la consommation d'eau serait de, même que dans le second cas, d'une sassée par bateau.

Nous croyons que ce troisième cas ne se présentera que très exceptionnellement, car on comprend qu'on pourra presque toujours le faire entrer dans le premier cas, puisqu'il suppose, comme lui, même nombre de bateaux marchant dans chaque sens.

1. Au lieu des vannes u, v et u', v' on pourrait employer les vannes q, r et q', r'

Quant au deuxième cas, nous croyons qu'il sera aussi peu fréquent, surtout lorsque la circulation sera intensive, car on peut admettre que le canal sera traversé par un nombre de navires qui sera sensiblement le même dans chaque sens. On peut supposer, en effet, que si certains bateaux, après avoir traversé le canal pour se rendre dans l'Océan Pacifique, trouvent avantage à revenir à leur point de départ par le détroit de Magellan, d'autres peuvent faire le trajet inverse.

Cependant, à cause des irrégularités de la navigation, il faut admettre que les navires qui se dirigeront dans un certain sens, seront, à un moment donné, notablement plus nombreux que ceux marchant en sens contraire. Le seul inconvénient qui en résultera, sera que la quantité d'eau consommée par le sassement de ces navires, s'élèvera au double de celle dépensée dans le cas du même nombre de navires marchant dans chaque sens.

La Commission d'études n'a d'ailleurs pas jugé utile de tenir compte de cet excédant de consommation d'eau, car elle compte uniformément 2 éclusées par bateau pour la traversée du canal, ce qui avec le mode de remplissage ordinaire suppose forcément, à chaque instant, le même nombre de navires se dirigeant dans chaque direction.

Malgré cela, nous croyons devoir prendre en considération l'augmentation de dépense d'eau résultant de cette hypothèse, et nous admettrons que, sur trois bateaux qui transiteront par le canal, deux consommeront 1 éclusée, et un 2 éclusées, ce qui fera une moyenne de 1 éclusée $\frac{1}{3}$ par bateau.

La disposition décrite pour le remplissage suppose que les deux échelles d'écluses fonctionnent en même temps et il faut prévoir le cas, où l'une des échelles étant en réparation, on ne pourra se servir que d'une seule. C'est pour cela que nous avons ajouté les quatre vannes **qr** et **q'r'**, qui permettent de faire passer l'eau des écluses supérieures dans les écluses aval correspondantes, à l'aide de tuyaux de faible longueur, reliant ceux de l'écluse inférieure à ceux de l'écluse supérieure.

Supposons, par exemple, que les écluses 2 et 3 soient en réparation et que les écluses 2 *bis* et 3 *bis* étant, la première vide et l'autre pleine, on veuille faire monter un bateau. Pour remplir 2 *bis*, on ouvrira **q'** et **r'**, et l'eau de 3 *bis* se videra dans 2 *bis*, les vannes **u** et **v** étant d'ailleurs fermées et empêchant l'eau de refluer dans l'écluse 2. Ayant fait passer le bateau dans 3 *bis*, on fermera **q' r'**, et on remplira ce sas, comme dans le cas général, en ouvrant **m'n'**, tandis que la vidange de 2 *bis* se fera en même temps par l'ouverture de **o'p'**.

Quant aux emplacements de ces écluses, il seroit, pour quatre groupes, les mêmes que ceux prévus par la Commission d'études, à Bohío, Paraiso, Pedro Miguel et Miraflores. Pour les deux autres groupes, ils seront également situés dans des buttes rocheuses présentant

toute sécurité pour les fondations, à l'emplacement des écluses 1 et 4 de l'ancienne Compagnie.

Ces écluses occuperont donc les points suivants :

Écluse n° 1	du kil.	22.400	au	22.770
—	2 et 3	—	23.830	— 24.330
—	4 et 5	—	45.780	— 46.280
—	6 et 7	—	56.550	— 57.050
—	8 et 9	—	58.950	— 59.450
—	10	—	61.920	— 60.200

Nous croyons inutile d'entrer dans des détails au sujet de la construction de ces écluses pour lesquelles, nous le répétons, nous avons admis les dispositions adoptées par la Compagnie, et plus ou moins modifiées par la Commission d'études.

Nous rappellerons seulement que ces écluses comprendront des bajoyers et des radiers maçonnés et qu'elles seront fermées par de grands caissons flottants composés de compartiments étanches et indépendants. A l'aide de l'air comprimé, on pourra maintenir dans ces compartiments une quantité d'eau plus ou moins grande, de façon à équilibrer et à lester la porte, et de plus à permettre les visites et les réparations en mettant à sec successivement les différentes parties. L'ouverture de ces portes se fera, non à l'aide d'un pont roulant permettant de déplacer la porte perpendiculairement au canal et de la loger dans une chambre spéciale construite à cet effet, ainsi que cela avait été prévu dans le projet de l'ancienne Compagnie, mais, ainsi que l'a recommandé la Commission, en les faisant pivoter autour d'un des poteaux chardonnets et en les rabattant dans une enclave ménagée à cet effet dans le bajoyer correspondant.

Quant à leur manœuvre, elle se fera mécaniquement à l'aide de moteurs actionnés par l'eau d'amont ou par un courant électrique. Nous verrons, en effet, que l'on dispose d'une quantité d'énergie électrique pour ainsi dire illimitée et qu'une partie de cette électricité devra être distribuée tout le long de la ligne du canal pour servir à l'éclairage. Ces appareils devront, d'ailleurs, être secondés par des engins permettant d'en effectuer la manœuvre à bras d'homme, en cas de rupture ou de réparation des mécanismes.

La longueur de ces écluses, entre les têtes extrêmes, sera de 280 mètres pour les écluses simples, et de 500 mètres pour les écluses échelonnées. Leur largeur totale, y compris le bajoyer central, qui aura 15 mètres d'épaisseur, et les terre-pleins, qui auront chacun 10 mètres de largeur, sera de 75 mètres.

Quant au minimum de la durée du remplissage, il est donné par la formule :

$$T = \frac{S}{m A} \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

dans laquelle :

S, désigne la surface de l'écluse, soit 4.300 mètres carrés;
 m , le coefficient de contraction que nous prendrons égal à 0,80;

A, la section d'écoulement $= 2 \times \frac{3,1416 \times 2,80^2}{4} = 12^{\text{m}^2}, 3150$;

H, la hauteur de chute $= 11^{\text{m}}, 00$;

$g = 9,81$.

En remplaçant les lettres par leur valeur, on trouve que la durée du remplissage ne serait que de 11 minutes 9 secondes.

Cette durée est un minimum qui donne une vitesse ascensionnelle de 1 mètre par minute. On conçoit qu'il suffira de n'ouvrir les vannes que d'une fraction plus ou moins grande pour réduire cette vitesse au chiffre qu'on se sera fixé à l'avance.

On remarquera que les hauteurs de chute des écluses supérieures seront soumises aux variations de niveau des lacs. Par suite, le volume d'eau provenant de leur vidange, sera insuffisant pour remplir les écluses inférieures. Pour obvier à cet inconvénient, il suffira d'ouvrir partiellement les vannes de remplissage en même temps que les vannes de vidange, de façon à permettre l'entrée, dans les écluses supérieures, du supplément d'eau nécessaire pour compléter le volume correspondant à la chute de 11 mètres.

Les maçonneries ne présenteront d'ailleurs pas de difficultés, car toutes les écluses ont été placées dans des buttes rocheuses, et, dans la plupart des cas, elles se borneront à de simples murs de revêtement destinés à abriter les roches traversées contre les intempéries et à arraser les parties saillantes qui pourraient endommager les navires. Malheureusement, à l'emplacement des écluses supérieures de chaque échelle, l'excavation faite pour le canal à niveau a déjà atteint une trop grande largeur, et, en certains endroits, où l'on n'aurait pu n'employer que des murs de revêtement de peu d'épaisseur, il sera maintenant nécessaire de recourir à de véritables murs de soutènement.

Dans certains cas, la profondeur de la fouille déjà faite est aussi plus grande que celle nécessitée pour le mouillage des navires, mais nous croyons qu'il sera inutile de combler cet excédant de hauteur qui ne paraît présenter aucun inconvénient, et qui a, au contraire, l'avantage de faciliter l'entrée et la sortie des navires en augmentant la section transversale de l'écluse, sans que ce résultat soit obtenu par une augmentation de la consommation d'eau.

Il faut en effet remarquer, qu'un bateau entrant dans une écluse est obligé de refouler un volume d'eau égal à celui qu'il déplace, volume qui doit s'écouler dans l'espace laissé libre autour du bateau. On peut donc faciliter cette manœuvre en augmentant la section transversale

de l'écluse, ce qui peut se faire, soit en augmentant sa largeur, ce qui aurait l'inconvénient d'augmenter la consommation d'eau, soit en augmentant la profondeur, ce qui a seulement pour effet de donner une plus grande hauteur aux bajoyers.

2^o Barrages

Le plus long et le plus difficile de tous les ouvrages d'art sera évidemment le grand barrage qui devra fermer la vallée du Chagres à Bohio et retenir les eaux jusqu'à une altitude maxima de 33 mètres au-dessus du niveau moyen des mers.

La côte d'étiage n'étant en cet endroit que d'environ 0^m,30, la retenue maxima sera donc de près de 33 mètres, c'est-à-dire 11 mètres de plus que celle que devait avoir le barrage prévu par la Commission d'études à San Pablo, et qui devait relever les eaux de la côte de 16 à la côte 37,50. Mais il faut remarquer que ce barrage, dont la Commission ne s'est pas dissimulé les difficultés d'exécution, aurait, en réalité, une hauteur beaucoup plus grande que celle résultant de la surélévation de niveau qu'il procurerait.

Le lit du Chagres n'est en effet en cet endroit qu'à la côte 7 ou 7,50 environ et la partie basse de la vallée à la côte 10 ou 11.

De plus, les sondages récemment exécutés, n'ont découvert un terrain propre à supporter les fondations, qu'à des profondeurs de 10 à 12 mètres au-dessous de la côte 0,00, de sorte qu'il est facile de voir qu'un barrage établi sur ce point aurait au moins une aussi grande importance que celui que nous nous proposons d'établir à Bohio.

En outre, il faudrait construire deux autres barrages dont l'un, celui barrant la vallée dans laquelle passe le P. R. R, serait presque aussi important que le barrage principal.

Les derniers sondages exécutés à Bohio n'ont malheureusement pas confirmé l'opinion émise par la Commission, qu'un barrage en cet endroit pourrait être aisément fondé sur le rocher. Ils ont montré que, si ce rocher affleure sur les deux flancs de la vallée, le lit du Chagres n'en est pas moins situé dans une faille remplie d'alluvions dont l'épaisseur est inconnue, mais qui n'ont pas été complètement traversées par des puits pénétrant à plus de 20 mètres au-dessous du zéro moyen des mers. Dans ces conditions, il faut renoncer à fonder cet ouvrage sur le rocher, du moins dans sa partie centrale, mais nous croyons qu'il sera possible de lui donner une assiette très suffisamment stable et incompressible à l'aide d'une fondation sur pilotis. La nature argilo-sableuse des alluvions sur lesquelles il devra repo-

poser, nous paraît d'ailleurs absolument favorable au fonçage des pieux.

Malgré le choix fait par la Commission d'un barrage mixte, nous croyons qu'il sera préférable d'employer un simple barrage en maçonnerie, sans l'adjonction de remblais venant s'appuyer sur chacun de ses parements. Cette énorme digue en terre, préconisée par la Commission et encastrant pour ainsi dire le barrage en maçonnerie, outre qu'elle a le tort grave de surcharger les fondations, qui, d'après ce qui vient d'être dit, doivent être ménagées le plus possible, nous paraît de nature à produire des effets pouvant détruire l'équilibre du mur. On conçoit en effet que le remblai situé à l'amont, étant constamment immergé, produira sur la face contre laquelle il s'appuie un effet constant, tandis que le remblai d'aval, soumis à des alternatives de pluies torrentielles et de sécheresse absolue, exercera sur le parement opposé une action variant avec la saison.

Aussi croyons-nous préférable d'employer la dépense que nécessiterait la confection de ces deux remblais à donner un surcroît d'épaisseur au mur.

C'est dans cet ordre d'idées que nous avons admis un profil à très large base et dans lequel la pression ne dépasse pas 3 kil. 50.

A ce sujet, nous ferons remarquer que la pierre de la carrière de Bohio, avec laquelle sera évidemment construit le barrage, ne présente pas la résistance dont quelques personnes paraissent la croire douée. Des expériences que nous avons faites avec la presse hydraulique des ateliers de Bas Matachin, il résulte, en effet, que cette résistance à l'écrasement ne dépasse pas 70 kilogrammes, en moyenne, par centimètre carré et 80 kilogrammes dans les meilleurs échantillons. Quant à sa densité, elle varie de 2,150 à 1,950.

Il est d'ailleurs bien entendu que les chiffres qui précèdent ne s'appliquent qu'à des échantillons de bonne qualité. En réalité, cette carrière a une composition très hétérogène; plusieurs de ses bancs sont impropres à la construction et il sera nécessaire de faire un choix judicieux.

Dans un ouvrage de l'importance de celui qui nous occupe, nous n'avons pas cru devoir faire travailler les matériaux à plus de $\frac{1}{20}$ de la charge produisant leur écrasement, et c'est aussi en nous basant sur cette considération, que nous sommes arrivé au chiffre cité plus haut de 3 kil. 50 par centimètre carré.

Dans le profil indiqué sur la planche III, on voit, il est vrai, que lorsque le réservoir est vide, la pression sur la base du mur à l'amont atteint 3 kil. 93. Pour ramener ce chiffre à 3 kil. 50, il suffira d'augmenter légèrement le fruit de la partie inférieure de ce parement.

Enfin, nous n'avons fait les calculs et tracé les courbes des pres-

sions que dans les deux hypothèses où le niveau de la retenue est de 30 ou 33. Dans le cas où le réservoir serait complètement vide, la pression à l'amont serait beaucoup plus grande, mais nous avons jugé inutile d'examiner ce cas qui ne se présentera jamais.

Le remplissage du lac ne se fera que progressivement et commencera bien avant l'achèvement du mur. A l'aide de syphons, on aura soin que le niveau du lac s'élève régulièrement et avec la même vitesse que les maçonneries, de façon à mettre celles-ci en charge au fur et à mesure qu'elles auront atteint leur complète dureté, et à faciliter ainsi les tassements.

Le mur en maçonnerie, formant le barrage proprement dit, qui dans sa partie la plus haute aura 35^m,10 de largeur à la base, reposera sur un massif en béton de 8 mètres d'épaisseur et de 51^m,10 de largeur, de façon à augmenter suffisamment l'empâtement pour que la pression à la base inférieure des fondations ne dépasse pas sensiblement 4 kilogrammes par centimètre carré.

Ce massif en béton sera supporté lui-même par des pilotis de 14 mètres de longueur, de 0^m,35 de diamètre au gros bout et 0^m,25 au petit. Le poids supporté par chacun de ces pieux, qui seront disposés en quinconce et espacés de 1^m,06 d'axe en axe, serait, si aucune pression n'était transmise directement au sol, de 40,000 kilogrammes, soit 42 kilogrammes par centimètre carré de section.

Étant donné la fiche parfaite que prendront ces pieux dans le terrain éminemment favorable dans lequel ils seront foncés et qu'il paraît certain qu'on pourra les battre à un refus suffisant, cette pression n'a rien d'exagéré. Mais on conçoit qu'un aussi grand nombre de pieux battus dans un terrain qui présente déjà une certaine solidité, auront pour résultats d'augmenter cette résistance, et que, en réalité, une grande partie du poids du mur et de ses fondations sera supportée directement par le sol.

Avec un massif de béton de 8 mètres de profondeur au-dessous du fond de l'eau et des pilotis pénétrant 12 mètres plus bas, nous ne croyons pas qu'il y ait lieu de craindre les affouillements, d'autant moins qu'à la profondeur de 30 mètres, quelle que soit l'agitation à la surface, l'eau sera toujours en repos presque absolu. Cependant, nous avons cru bon de donner un surcroît de sécurité en comprenant toute la fondation entre deux files de pieux jointifs et auxquels on donnera, si c'est possible, une fiche de 15 ou 20 mètres.

Nous ne croyons donc pas avoir à redouter des affouillements provenant de l'amont, mais nous estimons qu'il serait fort difficile d'empêcher ceux qui tendraient certainement à se produire à l'aval si l'on utilisait le barrage comme déversoir. La Commission d'études a bien admis cette solution, mais il faut remarquer qu'elle croyait que cet

ouvrage pourrait être fondé sur le rocher, et de plus que, dans son hypothèse, il ne devait avoir que 15 à 16 mètres de hauteur (1).

Dans le cas où nous nous trouvons placé, nous croyons qu'il serait de la dernière imprudence de faire déverser par dessus le mur le trop plein des eaux du lac. Cette cascade, de plus de 30 mètres de hauteur, aurait bien vite creusé un gouffre profond, dont les eaux, constamment en mouvement, ne manqueraient pas de détruire les fondations de l'ouvrage.

On a d'ailleurs remarqué que la plupart des barrages qui se sont écroulés ont péri, non pas par suite du manque de résistance du massif proprement dit, mais par les effets produits à la longue par la lame déversante.

Nous avons cru devoir donner une grande largeur, 5^m,50, au couronnement du barrage, afin de lui permettre de résister aisément au choc des lames qui, sous l'influence des orages, ne manqueront pas de se produire sur une nappe d'eau d'aussi grande étendue.

Ainsi que l'a fait remarquer la Commission, les fondations d'un pareil ouvrage pourront être exécutées en protégeant les fouilles, à l'aide d'un batardeau relevant le niveau des eaux de 2 ou 3 mètres, et en faisant écouler ces eaux avec la pression ainsi obtenue par des tuyaux de fort diamètre.

Comme il ne faut pas espérer, à notre avis du moins, exécuter ce travail en une seule saison sèche, les chantiers devront être organisés de façon à n'avoir à souffrir que le moins possible des crues du Chagres.

C'est pour cela que, quoique les maçonneries n'aient à supporter que de faibles charges, nous les composerons uniquement avec du mortier de ciment, de façon à avoir une prise plus rapide. De cette manière, le massif aura déjà acquis une certaine solidité au moment où il pourra avoir à essayer les effets d'une crue.

De chaque côté du barrage principal se trouvera un barrage de plus faible importance, servant en même temps de déversoir.

A gauche, l'un d'eux fermera le col qui se trouve entre le cerro sur lequel s'appuie le premier barrage et la chaîne de montagnes qui

(1) Relativement aux fondations sur pilotis que nous préconisons on pourrait objecter que l'un des plus grands barrages espagnols, celui de Puentés a péri par suite de l'affouillement de ses fondations, sous une pression de 47 mètres de hauteur. A ce sujet nous ferons remarquer que les pieux sur lesquels reposait ce barrage n'avaient que 6^m,70 de flèche et étaient foncés dans un gravier éminemment affouillable et de plus que la pression sur les fondations atteignait 7^k,90 par centimètre carré. Nous avons la conviction que grâce à la nature du terrain et aux dispositions que nous avons adoptées, complétées au besoin par quelques enrochements, cet accident ne doit pas être redouté pour le barrage de Bohío.

ferme la vallée, et à droite l'autre fermera l'ancienne dérivation R. D, n° 4.

Ces barrages, dont la construction ne présentera aucune difficulté, et dont les fondations reposeront sur le rocher compact, seront composés d'une partie fixe et d'une partie mobile destinée à l'écoulement des eaux.

Nous avons vu, dans le chapitre consacré à l'aménagement des eaux du Chagres, que les déversoirs devraient être capables de débiter 1.000 mètres cubes à la seconde et que ce débit devait être également partagé entre les deux déversoirs situés de chaque côté de l'axe du canal. Nous avons dit aussi que ce résultat serait obtenu en donnant 90 mètres de largeur à la partie mobile, et 5^m,00 de retenue maxima. On ne manquera pas de remarquer que le barrage de la rive droite se trouve bien près (à environ 120 mètres) de la tête amont des écluses n° 3, et l'on pourrait croire qu'il en résultera une gêne pour l'entrée et la sortie des navires à cause de l'appel d'eau que produira le déversoir lorsqu'il débitera son maximum. Nous croyons cependant qu'à cette distance de 120 mètres, l'écoulement se fera à peu près dans les conditions habituelles et qu'on peut lui appliquer les formules ordinaires de l'hydraulique.

La largeur de la section par laquelle se fera cet écoulement, au droit de la tête amont des écluses, étant de 170 mètres, et sa profondeur moyenne de 13 mètres, sa surface sera de :

$$170 \times 13 = 2210^{\text{m}^2}$$

et par suite un débit de 500 mètres cubes y occasionnera une vitesse moyenne de :

$$\frac{500}{2210} = 0^{\text{m}22}$$

En admettant que la vitesse à la surface fut les 5/4 de la vitesse moyenne, elle serait égale à :

$$\frac{0.22 \times 5}{4} = 0^{\text{m}28}$$

et, par suite, ne pourrait apporter aucune gêne à la navigation.

Enfin, pour achever de fermer la vallée à Bohío, il sera nécessaire de construire une petite digue en terre de 3 à 4 mètres de hauteur pour barrer le petit col qui se trouve à environ de 800 mètres à droite de l'axe du canal.

La fermeture du lac supérieur se fera à l'aide d'un barrage en terre, situé au droit du kilomètre 46.100, point où la vallée de l'Obispo est très rétrécie. Ce barrage pourra facilement être établi avec les déblais

provenant de l'excavation du canal, auxquels on fera traverser le P. R. R. sur un pont provisoire, en attendant que la déviation de ce chemin de fer soit exécutée.

Nous ne croyons pas que l'exécution de cet ouvrage présente aucune difficulté, ni que sa sécurité puisse être mise en doute, car on pourra, si on le juge nécessaire, lui donner une épaisseur double et même triple que celle usitée en pareil cas. Il reste en effet dans le canal un volume suffisant de terres argileuses pour fournir un bon corroi, et le temps relativement considérable dont on disposera pour l'établissement de ce barrage, permettra de prendre toutes les précautions nécessaires pour assurer sa bonne tenue. Il n'y aura qu'à prévoir une certaine plus-value pour le triage et le pilonnage des matériaux dont il devra être composé.

Du côté du Pacifique, la fermeture du bief de partage se fera par des barrages en maçonnerie de très faible longueur, s'appuyant d'un côté sur les écluses de Paraiso, et de l'autre sur les cerros L. Coyo et Nitro, complétés par une digue en terre barrant le col situé entre les cerros L. Coyo et Escobar, et construite avec les déblais provenant de la Culebra.

Le premier bief du côté du Pacifique sera fermé de la même manière par un barrage en maçonnerie s'appuyant sur les écluses de Pedro Miguel et le cerro Luisa, et par un barrage en terre allant des mêmes écluses au cerro Sierpe.

Enfin, la fermeture du dernier lac du Pacifique se fera par une simple digue en terre, comprise entre l'écluse de Miraflores et le cerro del paso del Arajan.

L'exécution de ces barrages en terre, soit avec les déblais de la Culebra, soit avec ceux provenant des premier et deuxième biefs, ne présente, à notre avis, aucune difficulté.

En attendant que la déviation du P. R. R. soit terminée, il suffira d'établir un ou deux passages pour la traversée de ce chemin de fer, et on pourra utiliser l'ancienne déviation rive droite, qui est à peu près terminée, pour le transport de ces déblais à leur lieu d'emploi.

Vu l'abondance des déblais, on pourra donner à ces digues une épaisseur au moins double de celle généralement employée, et nous croyons qu'il sera facile de les terminer en deux ans, de façon à ne les mettre en charge que deux ans après leur construction, l'achèvement du Canal étant obtenu au bout d'une période de quatre années.

Par suite des pluies torrentielles qui règnent pendant plus de la moitié de l'année, le tassement des matériaux qui les composent, préparé d'ailleurs par un pilonnage soigné, pour lequel il a été prévu un prix spécial, sera rapidement effectué, et la vigoureuse végétation qui s'y développera, et que l'on pourra d'ailleurs favoriser par des

plantations et des semis, contribuera aussi à augmenter leur solidité. Enfin, il ne faut pas perdre de vue que ces digues n'auront qu'à soutenir des eaux presque sans mouvement et n'auront pas à subir les effets de courants tendant à provoquer leur renversement.

Quant aux infiltrations auxquelles on pourrait craindre que ces digues donnent lieu, nous ferons remarquer qu'elles ne pourront être sensibles (si l'on n'a pas réussi à les éviter complètement par une construction convenable) que pendant les premières années de l'exploitation du Canal.

Par suite des dépôts que laisseront les eaux troubles dans les fissures, et que l'on pourra augmenter par des additions de sable, les déperditions d'eau, dues à cette cause, diminueront rapidement pour devenir nulles au bout de peu de temps.

Nous verrons d'ailleurs que les ressources de l'alimentation sont suffisantes pour compenser ces pertes car, pendant le temps où elles se produiront, le trafic du canal n'ayant pas atteint son maximum, la consommation d'eau par les écluses sera moindre que celle que nous lui avons assignée.

3^o Déviation du Panama Rail Road

D'après l'avis même du Directeur de cette Compagnie, ce travail ne présentera aucune difficulté et pourra être exécuté très rapidement.

On conçoit en effet qu'il sera possible de l'attaquer en un très grand nombre de points à la fois, en utilisant tout le petit matériel qui se trouve sur les chantiers du Canal et des dérivations, et où il n'aura plus d'utilité.

Cette déviation, ayant son origine à Ahorca-Lagarto, s'élèvera d'abord à flanc de coteau avec une rampe d'environ 0^m,01 par mètre, ou un peu moins, de façon à se trouver à son arrivée à Bohio à une altitude supérieure à celle du niveau maximum du lac. Elle se développera ensuite sur la rive gauche de l'axe du canal en franchissant les petits rios qu'elle rencontrera par des ouvrages d'art peu importants, et traversera ensuite le Chagres sur un viaduc établi à Gamboa.

A cause de la faible distance qui existera entre le viaduc et le lac supérieur, que devra longer la déviation de la même manière qu'elle a cotoyé le grand lac, il sera nécessaire d'établir le tablier de cet ouvrage à une côte assez élevée, 40 mètres environ; mais il faut remarquer que cette condition est en outre imposée par l'ouverture qu'il y aura lieu, à notre avis, de laisser libre à la navigation.

Le niveau du grand lac étant en moyenne de 32^m,50, si l'on veut laisser libre une hauteur de 7 à 8 mètres au-dessous du viaduc pour

permettre le passage de petites embarcations mâtées, on arrive en effet à la côte que nous venons d'indiquer,

La traversée de la Cordillère se fera, soit en plaçant le chemin de fer dans la tranchée même du canal, sur la grande banquette de 11 mètres de largeur qui sera ménagée à la partie supérieure, soit en la faisant passer par le petit col qui se trouve derrière le cerro Culebra et dont l'altitude ne dépasse pas 100 mètres.

Le premier système serait sans doute le plus économique, mais, outre que ce voisinage du canal et du chemin de fer pourrait donner lieu à des conflits entre les administrations de ces deux Compagnies, il serait une gêne pour l'élargissement futur du canal.

Par ces raisons, nous croyons qu'il sera préférable d'adopter le second tracé qui ne présente d'ailleurs aucun inconvénient sérieux.

CHAPITRE V

ALIMENTATION

Ce chapitre est destiné à indiquer le jeu des machines fournissant l'eau au bief supérieur et à démontrer, qu'en aucun moment de l'année, cette eau ne fera défaut.

Les principaux inconvénients que l'on reproche aux machines élévatoires sont de ne pas jouir de l'élasticité désirable dans le cas où, pour un motif quelconque, la consommation d'eau est notablement augmentée, et, dans le cas où elles sont mues par des machines à vapeur, de créer une charge permanente pour l'exploitation.

Dans les conditions où nous sommes placé, le premier de ces inconvénients est supprimé par la communication du bief de partage avec un lac d'environ 634 hectares de superficie, et dont la variation de niveau permet de disposer d'une réserve suffisante pour pourvoir à l'alimentation du canal pendant quatorze jours, dans le cas, inadmissible, d'ailleurs, où toutes les machines, pour diverses causes, resteraient ce laps de temps sans fonctionner. Cette même disposition écarte en même temps toutes les objections que l'on pourrait tirer des avaries pouvant se produire à l'une de ces machines. Toutes les machines étant identiques, on pourra avoir un grand nombre de pièces de rechange de façon à ce que les réparations puissent être rapidement faites, et de plus elles seront en nombre suffisant pour pouvoir en garder plusieurs en réserve et prêtes à fonctionner, au moment où un accident arriverait à l'une d'elles.

La force motrice actionnant ces machines élévatoires, étant pour ainsi dire fournie gratuitement par la chute créée par le barrage de Bohio, les seules dépenses qu'elles occasionneront à l'exploitation seront celles provenant de l'amortissement de leurs frais d'établissement et de leur entretien.

Or, il est facile de se rendre compte que cette dépense sera quatre ou cinq fois plus faible que l'économie qu'elles procurent, en permettant de n'entamer que d'une quantité beaucoup moindre le massif de la Cordillère.

En même temps que nous reconnaissons la nécessité de ne creuser que le moins profondément possible le massif central, nous avons été frappé de l'énorme force motrice créée par l'établissement d'un barrage en travers de la vallée du Chagres.

Le débit moyen de cette rivière pendant l'année étant en effet, à Bohio, d'environ 120 mètres cubes, une chute de 32 mètres par exemple produira une force de :

$$\frac{120.000 \times 32}{75} = 51.200 \text{ chevaux vapeur}$$

Si l'on ne peut songer à utiliser toute la puissance de cette chute, à cause de l'irrégularité du débit qu'elle laisse écouler, il est au contraire bien naturel de chercher à se servir de celle résultant d'un volume d'eau sur lequel on pourra toujours compter.

C'est cette idée qui est pour ainsi dire la base du projet que nous avons l'honneur d'exposer ici.

Pour nous rendre compte de la puissance que devront avoir les machines alimentaires, il faut d'abord déterminer quelle sera la consommation d'eau du bief de partage.

Cette consommation peut se diviser de la manière suivante :

- 1° Eclusées,
- 2° Pertes par les portes,
- 3° Pertes par évaporation,
- 4° Pertes par infiltrations et barrages,
- 5° Pertes par fausses manœuvres.

1° Consommation des éclusées.

D'après les dimensions adoptées c'est-à-dire :

215 mètres de longueur des sas,

20 mètres de largeur,

11 mètres de chute.

Le volume d'une éclusée sera de :

$$215 \times 20 \times 11 = 47.300^{\text{m}^3}$$

par suite, le passage d'un navire exigera, à raison de 1 éclusée 1/3, comme nous l'avons dit dans le chapitre précédent :

$$\frac{4 \times 47.300}{3} = 63.066^{\text{m}^3}$$

D'autre part, si nous nous plaçons dans l'hypothèse du trafic maximum à desservir, soit, d'après la Commission d'études, 7.250.000 tonnes, et si nous admettons que le tonnage moyen des navires sera de 1853 tonnes et le nombre de jours de navigation de 320, le nombre moyen de bateaux qui traverseront chaque jour le Canal sera de :

$$\frac{7.250.000}{320 \times 1853} = 13.$$

chaque navire exigeant un volume d'eau de 63,066 mètres cubes, le volume total consommé par les éclusées sera de :

$$63.066 \times 13 = 819.853^{m^3}$$

ce qui correspond à un débit à la seconde de :

$$\frac{819.853^{m^3}}{3600 \times 24} = 9^{m^3} \text{ environ}$$

Mais nous avons vu que la circulation sera très irrégulière et que c'est une des raisons pour lesquelles nous avons doublé les sas, de façon à pouvoir faire, au besoin, 26 éclusées par jour. Avec un bief de partage composé uniquement de la cuvette du Canal, cette considération obligerait à donner aux machines élévatoires une puissance double de celle nécessitée par la consommation d'eau moyenne et, par suite, occasionnerait un surcroît de dépense.

La formation du bief supérieur par un véritable lac à niveau variable évite cet inconvénient tout en présentant plus de sécurité. Il remplit alors en quelque sorte le rôle d'accumulateur, en emmagasinant l'eau débitée par les machines en quantité à peu près constante et en la distribuant aux écluses suivant les besoins irréguliers de la navigation. La réserve de 15.850.000 mètres cubes qu'il contient, permettrait, en effet, en fournissant aux machines le supplément nécessaire, d'assurer un trafic double du trafic moyen pendant 14 jours, ce qui est, croyons-nous, plus que suffisant pour parer aux éventualités qui peuvent se présenter.

D'ailleurs, si l'on avait des doutes à ce sujet, il serait facile d'augmenter cette réserve de 7 à 8 millions de mètres cubes en surelevant le petit barrage déjà créé sur le Rio-Grande, au point de rencontre de ce ruisseau avec la déviation du P. R. R., et en portant le niveau du lac ainsi obtenu à la cote 75.

Enfin, on obtiendrait un résultat analogue en abaissant d'un mètre, par exemple, le plafond du Canal ce qui donnerait à la réserve une augmentation de 6.340.000 mètres cubes.

2° Pertes par les portes

Les portes étant formées par un seul ventail étanche ne pourront donner lieu à des fuites que sur le pourtour de leur application contre les buscs et les chardonnets.

Il est évident qu'avec une construction soignée ces pertes pourront n'être que très faibles, mais d'autre part, il est certain qu'on ne pourra jamais les annuler entièrement, car on ne peut espérer réussir à dresser deux surfaces s'appliquant exactement l'une sur l'autre

sans laisser aucun vide et, réussirait-on, qu'au bout d'un certain temps de service des déformations inévitables viendraient changer ces conditions et occasionner des interstices laissant échapper l'eau.

Nous allons donc évaluer approximativement ces pertes en nous plaçant dans les conditions que nous croyons les plus défavorables, et pour cela nous supposons que la porte, au lieu de s'appliquer exactement sur ses butées, laisse au contraire un vide de 0^m,002 d'épaisseur moyenne livrant passage à l'eau.

Pour évaluer le débit de cet interstice régnant sur tout le pourtour de la porte, il y a lieu de diviser ce pourtour en deux parties, Celle située dans la partie de la porte correspondant à la hauteur de chute et celle relative à la partie constamment noyée.

Dans la première partie, l'écoulement peut être considéré comme ayant lieu à l'air libre. Appelons a la largeur de l'orifice par lequel il se produit et supposons-le partagé en une infinité de petits orifices de hauteur dz situés respectivement à une distance $z + dz$ du niveau supérieur. La dépense de chacun de ces petits orifices sera, en appelant K le coefficient de contraction :

$$q = K a dz \sqrt{2gz}$$

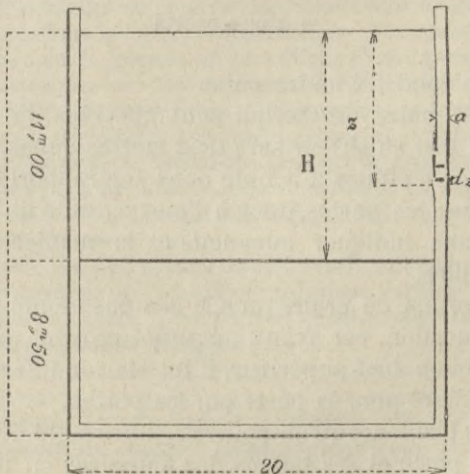
Par suite la dépense totale sera :

$$q = \int_0^H K a dz \sqrt{2gz}$$

et en intégrant :

$$q = \frac{2}{3} K a H \sqrt{2gH}$$

Il est impossible d'attribuer au coefficient K la valeur qui lui con-



vient réellement, car la manière dont se fera l'écoulement n'est assi-

milable à aucun des cas pour lesquels ce coefficient a été déterminé par l'expérience. Tout ce qu'on peut prévoir, c'est que ce coefficient sera certainement très faible, car il faut remarquer qu'ici le mouvement de l'eau se fera dans des conditions particulièrement difficiles. Avant de s'écouler à l'air libre, comme nous l'avons admis, les filets liquides auront déjà éprouvé une grande perte de charge, par suite de leur passage dans l'intervalle rétréci et plus ou moins régulier qui se trouve entre la porte et ses butées.

D'après cela, nous croyons avoir la certitude de ne pas être conduit à un résultat trop faible en admettant que ce coefficient n'aura qu'une valeur moitié moindre que dans l'écoulement par orifice en mince paroi, c'est-à-dire en le prenant égal à 0,31. Dans ces conditions le débit sera pour les deux chardonnets :

$$Q = \left(\frac{2}{3} \times 0.31 \times 0.002 \times 11 \sqrt{2 \times 9.81 \times 11} \right) \times 2$$

$$Q = 0^m133$$

Dans la partie constamment noyée, l'écoulement qui se fera sur le pourtour de la porte pourra être assimilé à l'écoulement en coursier et sa dépense se déduira à la formule :

$$Q = K A \sqrt{2 g h}$$

soit, en prenant pour K la même valeur que précédemment et en remarquant que $h = 11$ mètres et :

$$A = 0.002 (8.50 + 20 + 8.50) = 0.002 \times 37$$

$$Q' = 0.31 \times 0.002 \times 37 \sqrt{2 \times 9.81 \times 11}$$

$$Q' = 0^m337$$

La perte totale par chaque porte sera donc :

$$Q + Q' = 0^m3470$$

Soit en nombre rond 1/2 mètre cube.

Comme il y a quatre portes qui sont affectées de cette perte, la perte totale du bief supérieur sera de 2 mètres cubes.

La Commission d'études a adopté dans son rapport 6 mètres cubes par seconde pour les pertes dues à l'inexactitude de fermeture des portes, mais sans indiquer aucunement la manière dont elle est arrivée à ce chiffre.

Il nous est permis de croire qu'elle n'a pas ajouté grande importance à cette question, car ayant, ou plutôt croyant avoir, de l'eau à discrétion dans son bief supérieur, il lui était indifférent d'admettre un chiffre très élevé pour la perte par les portes.

Nous croyons d'ailleurs qu'on pourra réduire cette dépense en interposant entre la porte et ses butées des fourrures en matériaux légèrement compressibles et élastiques (bois, caoutchouc, etc.), qui, sous

l'influence de la forte pression à laquelle ils seront soumis, pourront former un joint presque parfait (1).

3° Pertes par évaporation

Nous compterons, comme la Commission d'études, une hauteur de 0^m,006 par vingt-quatre heures, chiffre qui, d'après des observations particulières faites sur place pendant les saisons sèches de 1889 et 1890, s'accorde parfaitement avec la réalité.

La surface du lac formant le bief de partage étant de 634 hectares, la perte totale due à l'évaporation et à l'infiltration sera donc

$$6.340.000 \times 0^m006 = 38.040m^3$$

soit un débit d'environ 0^m3,44 (2)

4° Perte par infiltrations et barrages

A cause de la nature argileuse des terrains de l'Isthme nous croyons que les pertes par infiltrations seront nulles, du moins au bout de

1. On ne peut, il est vrai, assimiler les portes d'écluse, qui doivent subir un grand nombre de manœuvres journalières, aux portes des bassins de radoub, qui restent des semaines entières sans être mises en mouvement et, par conséquent, sont moins sujettes aux déformations. Cependant, nous avons été frappé de voir, soit à Marseille, soit à Liverpool, que les portes des cales sèches, qui supportent des charges d'eau de 7 mètres et même plus, ne donnent lieu qu'à des déperditions d'eau insignifiantes et n'atteignant certainement pas une dizaine de litres à la seconde.

2. *Remarque.* — [En faisant ces observations, nous avons été surpris au premier abord de voir que pendant la nuit, l'évaporation est plus grande, généralement près du double, que dans la journée, et nous étions plutôt porté à croire le contraire à cause de la température beaucoup plus élevée qui règne dans la journée. Pour expliquer ce résultat de l'expérience, nous croyons que le vent du Nord, qui souffle dans la journée venant de l'Atlantique, est très chargé de vapeur d'eau et ne favorise guère l'évaporation, tandis que pendant la nuit, grâce au rayonnement nocturne, l'air en contact avec la terre se dépouille de son humidité en la déposant sous forme de rosée de sorte que, lorsqu'il arrive sur une nappe d'eau, il est relativement froid et sec.

Au contact de cette eau qui, comme on sait, se refroidit moins vite par rayonnement que la terre, cet air se réchauffe et redevient capable de contenir une plus grande quantité de vapeur d'eau qu'il va ensuite, sous l'influence du vent, déposer de nouveau sous forme de rosée.

A l'appui de cette opinion, nous dirons que l'évaporation la plus grande a été remarquée précisément pendant les nuits les plus sereines et qui ont produit le plus de rosée. Lorsque les nuits étaient obscures et qu'il n'y avait que peu de rosée, l'évaporation nocturne était très faible, souvent même plus faible que dans la journée.

quelques années, quand les dépôts des matières charriées par les rios en auront colmaté le fond.

Quant aux barrages en terre, leur mode de construction et leur surcroît d'épaisseur empêcheront aussi toute déperdition d'eau. Les quelques infiltrations auxquelles ils pourront donner lieu dans les premiers temps de leur mise en charge seront vite arrêtées par les dépôts occasionnés dans les fissures par les eaux troubles, aidées au besoin par des dépôts de sable. L'eau ainsi perdue pendant les premières années ne pourra d'ailleurs occasionner aucune gêne puisqu'à ce moment, le trafic n'ayant pas atteint son maximum, la quantité d'eau consommée par les éclusées sera beaucoup moindre que celle prévue.

Enfin, dans le cas où il resterait quelques infiltrations permanentes, nous croyons que les eaux débitées par les différents rios et par les eaux souterraines du massif central, dont nous n'avons pas tenu compte dans les ressources, seraient suffisantes pour compenser les pertes que ces infiltrations pourraient occasionner, ainsi que celles, très minimes, auxquelles donneront lieu les barrages mobiles.

5° Pertes par fausses manœuvres

Quoique dans le cas qui nous occupe, ce chiffre nous semble un peu exagéré, nous admettrons que ces pertes puissent s'élever à 1/10 du total des autres causes de dépenses, c'est-à-dire à un débit de 1^{m³},2.

En récapitulant, on voit que la consommation d'eau totale du bief de partage, par seconde, sera :

Eclusées	9 ^{m³} ,5
Pertes par les portes	2 ^{m³} ,0
— évaporation	0 ^{m³} ,44
— infiltrations	» »
— fausses manœuvres	1 ^{m³} ,2
Total	13 ^{m³} ,14

soit, au maximum, 13 mètres cubes et demi que les machines devront fournir à ce bief.

Ces machines comprendront d'abord des turbines mises en mouvement par le barrage de Bohio et actionnant directement des machines dynamo-électriques qui transmettront, à l'aide de simples conducteurs métalliques, la force motrice ainsi recueillie, aux pompes élévatoires situées au pied des écluses de Bas-Obispo. La grande distance qui existe entre le point où sont situés les récepteurs hydrauliques et celui où doit être reçue l'eau qu'il s'agit d'élever, empêche la commande directe des pompes par ces moteurs. On se

rend compte *a priori* des difficultés pour ainsi dire insurmontables que présenterait l'établissement de conduites capables de débiter $13^{\text{m}^3},5$ par seconde sur environ 25 kilomètres de longueur et avec 22 mètres de différence de niveau.

Le calcul montre d'ailleurs que cette solution, en supposant qu'elle fût admissible, serait beaucoup plus coûteuse que celle que nous avons adoptée et que les frottements, produits par les pressions qu'il serait nécessaire de développer dans ces conduites, occasionneraient une perte de travail notablement supérieure à celle consommée par la transmission électrique, ce qui équivaut à dire que la quantité d'eau à fournir aux moteurs devrait être plus considérable. Il en est de même de la transmission de la force motrice par l'air comprimé ou par tout autre procédé.

Nous avons vu que le niveau d'étiage du Chagres à Bohio est environ à la côte $0^{\text{m}},30$, mais à ce moment là cette rivière ne débite que 15 à 16 mètres cubes, ce qui tient à ce que sa section est alors réduite à 40 mètres carrés.

Pour que ce volume puisse s'élever à 31 mètres cubes, c'est-à-dire, comme nous le verrons, au volume débité par les turbines il faut que son niveau atteigne la côte $0^{\text{m}},85$.

C'est ce chiffre que nous adopterons pour niveau du Canal de fuite quoique, en réalité, il sera notablement abaissé par suite de l'ouverture de la dérivation R. G. n° 3 et de l'approfondissement du Canal. On pourrait d'ailleurs abaisser ce niveau à la côte $0^{\text{m}},30$, en donnant au lit du Chagres, entre l'extrémité de cette dérivation et l'emplacement des turbines, la même section qu'à ladite dérivation, c'est-à-dire 30 mètres de largeur au plafond avec des talus de 2 de base pour 1 de hauteur et 3 mètres de profondeur au-dessous de zéro. La section d'écoulement pour cette hauteur de $0^{\text{m}},30$ serait de 110 mètres carrés avec une pente de $\frac{0,30}{23^{\frac{1}{2}},500}$ ce qui d'après la formule :

$$Q = A \sqrt{\frac{R i}{b_1}}$$

dans laquelle : b_1 est un coefficient égal à 0,0004, R le rayon moyen, c'est-à-dire le quotient de la section par le profil mouillé $= \frac{110}{44,8} = 2,46$, i la pente et A la section, donnerait :

$$Q = 31^{\text{m}^3}$$

soit un volume sensiblement le même, comme nous le verrons, que celui débité en moyenne par les turbines.

Nous croyons qu'il sera inutile de recourir à ce procédé qui aurait l'avantage d'augmenter la hauteur de chute, et par suite la quantité de force motrice qu'il est possible de recueillir, et nous établirons

nos calculs en supposant que le niveau du Canal de fuite ne s'abaisse pas au-dessous de la cote 0,85.

Le niveau du lac d'aménagement des eaux du Chagres variant de la cote 32,50 à la cote 30, la hauteur moyenne de la chute variera, par suite, de :

$$\begin{aligned} & 32.5 - 0.85 = 31.65 \\ \text{à} & \quad 30 - 0.85 = 29.15 \end{aligned}$$

et sera en moyenne de :

$$\frac{31.65 + 29.15}{2} = 30.40$$

Pendant les crues, la hauteur de l'eau dans le canal de fuite atteindra et pourra même dépasser légèrement la cote 3 tandis que, par suite de l'ouverture anticipée des vannes, le niveau pourra descendre dans le réservoir au-dessous de la cote 30 de sorte que, pendant quelque temps, la hauteur de chute pourra être réduite à moins de 27 mètres. Mais outre que ce phénomène sera peu de durée, il n'y a pas à se préoccuper de cette réduction de puissance des machines élévatoires, qui sera plus que compensée par les eaux pluviales et il suffit d'examiner ce qui se passera pendant la saison sèche, qui sera le moment le plus défavorable de l'année au point de vue de l'alimentation.

Pendant cette saison, la hauteur moyenne à laquelle il faudra élever l'eau nécessaire à l'alimentation du bief de partage, sera, par suite de la variation de niveau de ce bief entre les côtes 49 et 51,50, égale à :

$$\frac{21.50 + 19.00}{2} = 20.25 \text{ (}^t$$

La force motrice nécessaire pour envoyer dans le bief supérieur les 13 mètres cubes et demi d'eau qu'il pourra consommer, serait donc, théoriquement égale à :

$$\frac{20.25 \times 13500}{75} = 3645 \text{ chevaux vapeur}$$

Pour évaluer la force réelle qu'il y aura lieu de mettre en œuvre, nous admettrons que les turbines fournissent un rendement de 0,75 ce qui, avec la grande hauteur de chute que nous avons, la constance

1. Cela suppose le niveau du grand lac à la cote 30. En réalité le niveau moyen de ce lac étant à la cote : $\frac{30 + 32.50}{2} = 31,25$ et celui du lac supérieur à la cote : $\frac{49 + 51,50}{2} = 50,25$ la différence du niveau de ces deux lacs ne sera que de : $50,25 - 31,25 = 19^m00$. Néanmoins, nous avons adopté 20^m25 de façon à être conduit à donner aux machines une puissance qui ne puisse pas être suspectée d'être trop faible.

du débit et les faibles variations du niveau d'amont par rapport à cette chute, ne sera évidemment pas difficile à obtenir.

Pour les pompes, nous supposons que ce rendement ne sera que de 0,70 quoique dans les pompes rotatives du système Greindl, par exemple, ce rendement soit généralement de 0,75 à 0,80 et souvent même davantage.

Avec des pompes à piston, ce rendement peut encore être beaucoup plus élevé et même se rapprocher de l'unité, mais le prix et l'installation de ces pompes sont beaucoup plus coûteux et leur fonctionnement plus délicat. Nous croyons qu'il sera préférable de sacrifier un peu sur le rendement et d'employer des machines plus simples.

Enfin nous admettrons que le rendement total des machines dynamo-électriques et du conducteur reliant les deux usines ne sera que de 0,55. Plusieurs constructeurs garantissent un rendement de 0,65, mais nous croyons préférable de n'admettre qu'un rendement inférieur de façon à réduire autant que possible la dépense qu'occasionnera ledit conducteur.

La force totale que devra fournir la chute sera donc égale à :

$$\frac{3645}{0.75 \times 0.70 \times 0.55} = \frac{3645}{0.29} = 12.562 \text{ chevaux de vapeur}$$

ce qui, sous la chute moyenne de 30^m,40, exigera un débit égal à :

$$\frac{12562 \times 75}{30.40} = 30.970 \text{ litres}$$

soit, en forçant un peu, 31 mètres cubes (1).

Tel est le volume d'eau moyen qui pendant toute la saison sèche devra être fourni aux turbines.

Sans entrer dans des détails au sujet de l'installation des différentes machines, qui, devra faire l'objet d'une étude spéciale, nous croyons cependant nécessaire d'indiquer comment nous comprenons que cette installation pourra être effectuée.

Sur la rive droite du Chagres, au pied du barrage principal, serait installée l'usine hydraulique comprenant les turbines et les dynamos génératrices. Les turbines seraient à axe horizontal, de manière à actionner directement les dynamos génératrices correspondantes, et cet axe se trouverait à la côte 5 ou 6 au-dessus de zéro, de façon à ce que le sol de l'usine ne puisse être inondé par les eaux débitées par le déversoir de gauche qui, comme nous l'avons vu, ne dépasseraient guère la côte 3 dans le Canal de fuite.

Ces turbines seraient donc du type Jonval, c'est-à-dire qu'elles

1. Si l'on admettait un canal de fuite ayant son plafond à la côte 0^m30, la chute moyenne s'élèverait à 30^m,95 et le débit de 30.970 litres se réduirait dans le rapport de 30,40 à 30,95 c'est-à-dire s'abaisserait à 30.440 litres.

fonctionneraient par aspiration, en se servant d'un tube hydro-pneumatique pour l'écoulement de l'eau dans le bief d'aval.

En ce qui concerne la division de la force motrice, nous croyons, qu'on sera dans de bonnes conditions en adoptant des pompes capables d'élever 1000 litres à la seconde, actionnées chacune par deux dynamos réceptrices recevant leur mouvement de deux dynamos génératrices commandées par la même turbine. Ces groupes de machines qui seraient au nombre de 16, de façon à permettre d'en avoir constamment 2 ou 3 en repos ou de fournir au bief de partage un volume d'eau supérieur au débit moyen, seraient complètement isolés les uns des autres, de sorte qu'un accident survenant à l'un des appareils qui le composent, les machines des autres groupes n'en seraient pas affectées.

La force motrice à fournir à chacune de ces pompes serait alors de :

$$\frac{1000 \times 20.25}{0.70 \times 75} = 386 \text{ chevaux}$$

et celle que les turbines devraient communiquer aux dynamos génératrices correspondantes serait de :

$$\frac{386}{0.55} = 702 \text{ chevaux}$$

c'est-à-dire

$$702 \times 736 = 516.672 \text{ watts.}$$

Cette force pourrait être produite dans deux dynamos de 260,000 watts chacune de capacité, placées sur le même arbre et de chaque côté de la turbine motrice.

Ces deux dynamos identiques seraient accouplées en série et marcheraient à un potentiel de 3000 volts avec un débit de 86.6 ampères. Leur courant commun serait reçu dans une canalisation aérienne, établie en câble de cuivre nu de 80 millimètres carrés de section, et transmettant l'énergie électrique à deux dynamos réceptrices de 210,000 watts de capacité, actionnant la même pompe rotative, calées sur le même arbre qu'elle, et situées une de chaque côté de ladite pompe.

Enfin, chacune des turbines devrait recevoir de la chute une force totale égale à :

$$\frac{702}{0.75} = 937 \text{ chevaux, en nombre rond 940}$$

Nous ne donnons, bien entendu, ces chiffres et cette combinaison que pour fixer les idées, une installation mécanique de cette importance devra être soigneusement étudiée et nous croyons que la meilleure solution de cette question s'obtiendra en la soumettant à un concours entre les principales maisons de construction française.

Consommation d'eau totale.

Nous avons vu que la quantité d'eau à fournir aux turbines sera de 31 mètres cubes la seconde.

D'autre part, le volume à envoyer dans le bief supérieur doit être de 13 mètres cubes $\frac{1}{2}$ ce qui fait un total de 44 mètres cubes $\frac{1}{2}$ auquel il faut ajouter les pertes par évaporation sur une surface de 9000 hectares. A raison de 0^m,006 par 24 heures cette perte sera de :

$$90.000.000 \times 0.006 = 540.000^{\text{m}^3}$$

soit environ 6 mètres cubes $\frac{1}{3}$ par seconde.

La dépense totale à laquelle devront faire face les eaux du Chagres sera donc égale à :

$$43 \frac{1}{2} + 31 + 6 \frac{1}{3} = 51^{\text{m}^3} \text{ en nombre rond}$$

Or, si nous considérons la dernière saison sèche, qui a été celle qui a duré le plus longtemps et pendant laquelle le débit minimum des cours d'eau a atteint sa plus faible valeur, nous voyons que du 29 janvier 1891 au 4 mai de la même année, le débit du Chagres à Bohio a varié de 52 à 15 mètres cubes (1) et que son débit moyen a été pendant cette période de 95 jours de :

$$\frac{234.230.400}{95 \times 86.400} = 28^{\text{m}^3}536$$

234,230,400 étant le cube total débité dans cet intervalle.

Il manquera donc un débit journalier de

$$51 - 28.536 = 22^{\text{m}^3}464$$

qui devra être fourni par la réserve emmagasinée entre les côtes 32,50 et 30 du réservoir, laquelle, pour 9000 hectares de superficie, sera de :

$$90.000.000 \times 2.50 = 225.000.000^{\text{m}^3}$$

c'est-à-dire capable de fournir ce même débit pendant

$$\frac{225.000.000}{22.464 \times 86.400} = 112 \text{ jours}$$

On voit donc que cette réserve est suffisante pour faire face à tous les besoins et qu'il n'y a pas à craindre le manque d'eau pendant la saison sèche.

Si cependant on craignait une sécheresse encore plus prolongée

1. Ce n'est, en effet que le 4 mai qu'a eu lieu la première grande crue de la saison. Cette crue, qui généralement se présente 15 jours ou un mois avant, étant emmagasinée dans le grand lac, serait plus que suffisante pour parer aux débits inférieurs à 51 mètres cubes qui pourraient se produire, accidentellement, plus tard.

que celle qui a sévi cette année et dont la durée doit être cependant considérée comme exceptionnelle, il n'y aurait qu'à abaisser le plafond du bief supérieur de 0^m,50 ou de 1 mètre, ce qui permettrait de laisser baisser les eaux du grand lac jusqu'à la côte 29,50 ou 29 et d'utiliser une réserve supplémentaire de 45 ou 90 millions de mètres cubes. Enfin, il ne faut pas oublier que nous avons supposé que la surface du lac ne serait que de 9.000 hectares, tandis que d'après nos calculs elle dépasserait 10.000 hectares, de sorte que le volume emmagasiné par la réserve de 2^m,50 serait, non de 225 millions, mais de plus de 250 millions de mètres cubes. Il serait alors suffisant pour fournir le débit complémentaire pendant 130 ou 140 jours.

CHAPITRE VI

MODES ET DÉLAIS D'EXÉCUTION

Dans les conditions où nous nous sommes placé, ce n'est plus d'après le temps nécessaire pour l'achèvement de la grande tranchée de la Culebra qu'il faut estimer la durée totale des travaux, ainsi que cela a lieu dans la plupart des autres projets et notamment dans celui de la Commission. Cette durée ne dépend plus que de la construction des ouvrages d'art et nous savons qu'ils peuvent tous, même le grand barrage de Bohio, être exécutés dans une période de quatre années. Néanmoins il sera bon de travailler au percement du massif central dès la reprise des travaux, afin que les matériaux en provenant, et employés à la construction des barrages de l'Obispo et du Rio Grande, aient le plus de temps possible pour opérer leur tassement avant leur mise en charge.

En même temps, on procédera à l'enlèvement des dépôts si malheureusement faits aux abords du k. 54.500, et on prendra toutes les précautions prévues par la Commission d'études pour que les terrains déjà ébranlés ne puissent continuer leur mouvement et s'avancer jusque dans la cuvette du Canal.

Quant au matériel flottant (dragues, clapets, élévateurs) qui se trouve aux deux extrémités de la grande tranchée, nous ne croyons pas qu'il soit susceptible d'être avantageusement employé pour le creusement, qui devra se faire uniquement à l'aide d'excavateurs ou de charges à bras, mais nous estimons qu'il pourra être utilement employé plus tard pour l'entretien du bief supérieur.

A cause du prix élevé des travaux de montage et de démontage, il sera préférable de les éviter et de descendre les appareils ci-dessus désignés, en approfondissant les petits bassins dans lesquels ils se trouvent actuellement, au fur et à mesure de l'abaissement de la tranchée.

L'extraction des déblais ne présentant plus aucune difficulté, à cause des faibles proportions auxquelles ils ont été réduits, nous croyons inutile d'insister sur ce sujet.

Nous ferons seulement remarquer que l'emploi de ces déblais pour la fermeture des lacs, devra être l'objet des plus grands soins, de façon à éviter toute chance de destruction ou de déperdition d'eau.

Ce travail ne présente aucune difficulté mais il demande un triage

judicieux des matériaux et l'usage de moyens méthodiques pour le régalage et la préparation du corroi auquel il sera bon, croyons-nous d'ajouter une petite quantité de lait de chaux ou de chaux en poudre. Étant donné le temps considérable dont on disposera pour construire ces digues, on pourra ne négliger aucune des précautions usitées en France dans la construction d'ouvrages analogues, tels que le réservoir de Montaubry sur le Canal du Centre, par exemple, qui a 17 mètres de hauteur.

Le prix de 2 francs par mètre cube que nous avons prévu est largement suffisant pour faire face à ces travaux de corroyage et aux dépenses auxquelles pourront donner lieu les revêtements des talus noyés qui d'ailleurs, à notre avis, ne seront pas nécessaires.

L'importance des cours d'eaux sur lesquels nous proposons d'établir des barrages en terre n'étant que très faible, il n'y aura pas à craindre les difficultés d'exécution que présenterait un ouvrage de ce genre dans le lit du Chagres, comme celui qui avait été prévu, à Gamboa, dans les projets de l'ancienne Compagnie.

Le grand barrage de Bohío étant l'ouvrage d'art le plus important, devra être l'objet des premières études qui consisteront en des sondages complémentaires pour reconnaître l'emplacement exact ou devra être implanté cet ouvrage.

En même temps on relèvera la topographie de la zone inondée de façon à pouvoir calculer exactement les surfaces des lacs, surtout celles du grand lac et du lac supérieur qui ont une grande importance au point de vue de l'aménagement des eaux. Enfin, cette dernière question devra être soigneusement étudiée, car c'est d'elle que dépendent les niveaux maximum et minimum qu'il y aura lieu d'assigner à ces deux lacs et par suite la fixation du seuil des écluses et des dimensions des orifices d'écoulement.

Nous croyons hors de propos, dans une étude aussi succincte, d'entrer dans de grands détails au sujet de la reprise des travaux et quoique l'expérience personnelle que notre long séjour dans l'isthme nous a permis d'acquérir, nous permette de donner d'utiles indications sur les modifications qui devront être apportées aux procédés généralement employés, nous ne croyons pas pouvoir les décrire ici sans dépasser les limites du cadre que nous nous sommes imposé et qui a pour but, avant tout, de poser une question de principe en ne la faisant suivre que des explications strictement nécessaires pour démontrer sa praticabilité.

Ainsi que l'a fait remarquer la Commission, le matériel approvisionné dans l'isthme est en bon état et en quantité suffisante (sauf addition de quelques engins spéciaux) pour permettre l'achèvement du Canal. De plus, dans une entreprise aussi critiquée et aussi controversée que celle dont il s'agit, nous croyons qu'il serait de la plus grande imprudence de chercher à vaincre les difficultés, maintenant

bien définies, à l'aide de procédés ou d'appareils nouveaux et qui n'ont pas encore été consacrés d'une façon irrévocable par la pratique. Il nous paraît indispensable de n'employer que des moyens permettant d'agir à coup sûr, d'autant plus que dans les conditions auxquelles nous avons ramené le problème on ne rencontre plus aucune difficulté réellement sérieuse. S'il est vrai que l'ancienne Direction des travaux a commis un grand nombre de fautes, il est non moins certain que la plupart ont été dues au désir d'employer des procédés nouveaux, que leurs promoteurs influents prétendaient aptes à vaincre toutes les difficultés. C'est ainsi qu'on a été conduit à installer des dragues à la Culebra où elles n'ont donné et ne pouvaient donner que des résultats dérisoires, tandis que dans d'autres parties où l'emploi de la drague aurait été avantageux, on a exécuté des terrassements à sec.

Outre que le caractère essentiellement privé et industriel d'une pareille entreprise interdit de faire des écoles, il ne faut pas oublier que l'Isthme de Panama se prête moins que tout autre pays à des expériences. Aussi, croyons-nous exprimer l'avis de toutes les personnes connaissant bien cette contrée, en disant que la réussite ne peut être espérée que par l'emploi de procédés bien connus, pour ne pas dire terre à terre.

Il est d'ailleurs bien entendu que cette manière de voir, n'exclut nullement l'initiative mais, que dans notre pensée, il faudra surtout s'appliquer à approprier aux travaux de l'Isthme les procédés sanctionnés par la pratique, plutôt que de recourir à des moyens douteux malgré tout l'attrait qu'ils pourraient présenter. Après une crise comme celle que traverse l'œuvre du Canal, on ne saurait agir avec trop de prudence et les futurs ingénieurs seraient réellement coupables de l'exposer par leur témérité, à un nouveau désastre auquel ils ne pourraient opposer qu'une responsabilité impuissante à le réparer.

CHAPITRE VII

PRIX D'APPLICATION

Ce travail a été établi d'après les indications qui se trouvent dans le rapport de la Commission d'études et surtout d'après les observations qu'un séjour de près de 4 ans 1/2 dans l'isthme nous a permis de faire sur les chantiers.

Les prix que nous avons cru devoir adopter s'écartent d'ailleurs très peu de ceux fixés par la Commission, et encore cela n'a-t-il lieu qu'à cause des conditions différentes dans lesquelles nous nous sommes placé. Partout où nous nous sommes trouvé dans des situations identiques à celles décrites par la Commission, nous avons adopté franchement les mêmes prix de revient et cela, non seulement parce que ces prix ont été très bien étudiés, mais surtout pour rendre plus facilement comparable l'état estimatif de notre projet avec celui qu'elle a préconisé.

I *Terrassements*

En même temps que nous énumérerons les divers prix de revient, nous indiquerons aussi les parties du Canal auxquelles ils s'appliquent et pour cela nous le diviserons en autant de parties qu'il comporte de biefs.

1° BIEF MARITIME DE L'ATLANTIQUE.

Dans cette partie tous les déblais seraient exécutés à la drague. Nous appliquerons au cube restant à extraire dans ce bief les prix fixés par la Commission soit :

5 fr. 50 dans les bancs de corail qui composent le fond du bassin de Colon et du bief maritime jusqu'au kil. 4.

3 fr. 50 dans tous les déblais à exécuter entre le kil. 4 et la première écluse, ce prix étant un prix moyen adopté en supposant que la plus value à appliquer aux déblais rocheux provenant des buttes situées aux kil. 5.600, 10.040 et 13.400 et qu'il faudra ameublir par des mines avant le passage de la drague, sera compensée par la moins value qui résultera de ce que, dans certains cas, les dragues déchargeant direc-

tement leurs déblais sur les berges à l'aide de longs couloirs, le prix du mètre cube pourra alors être abaissé à 2 fr. 50.

Quant au cube à extraire dans les dérivation, il peut être considéré comme se composant à peu près de moitié de déblais à 3 fr. 50 et moitié à 5 fr. 50 d'où il ressort un prix moyen de 4 fr. 50.

2° DE L'ÉCLUSE 1 A L'ÉCLUSE 2.

Les déblais à enlever dans cette partie se composent uniquement d'argiles plus ou moins sableuses, et très faciles à extraire.

Ces déblais s'exécuteront au wagonnet Decauville et seront transportés à environ 150 mètres de l'axe pour servir à l'établissement des digues latérales [de droite. En raison de la distance et de la hauteur à laquelle il faut transporter ces déblais, et surtout de la sujétion qu'entraînera la confection des digues, nous fixerons ce prix à 5 fr. 50. Malgré les sujétions indiquées, nous considérons ce chiffre comme très suffisamment rémunérateur (1).

3° DES ÉCLUSES DE BOHIO AUX ÉCLUSES DE BAS-OBISPO.

Dans cette partie, il n'y aurait plus aucun déblai à extraire si l'on voulait se contenter d'une seule voie. Presque partout, il y aura une largeur et une profondeur permettant aux plus grands navires de circuler et de croiser dans tous les sens; mais, dans le passage de la deuxième butte de San Pablo, au kilomètre 37 et dans celui de la butte de Matachin, au kilomètre 43,800, le chenal serait rétréci de façon que deux navires ne pourraient s'éviter.

Les déblais à extraire pour élargir ces deux buttes ne représentent qu'un cube peu considérable, et, quoiqu'ils doivent être en grande partie excavés dans la roche dure, il suffira de prévoir, pour leur enlèvement, un prix moyen de 5 fr. 50 par mètre cube, car il n'y aura pour ainsi dire pas de transport à effectuer. Ces déblais pourront être en effet jetés simplement dans les fouilles des écluses n^{os} 2 et 3 de l'ancienne Compagnie, qui sont déjà descendues aux côtes 8 et 12.

4° DE BAS-OBISPO A PARAISO (BIEF SUPÉRIEUR)

Depuis Bas Obispo jusqu'à la grande tranchée de la Culebra, nous croyons qu'un prix moyen de 7 francs par mètre cube sera très suffisamment rémunérateur, car, dans cette partie, la profondeur de

1. *Remarque.* — Nous avons vu en 1888 à Tavernillo dans un terrain de même nature et pour un transport de 100 à 150 mètres des tâcherons payés à raison de 3 fr. argent colombien, le mètre cube c'est-à-dire environ 2 fr. 20 argent français, et cependant c'était au moment ou, par suite de l'arrivée de l'entreprise "Eiffel", le prix de la main d'œuvre avait augmenté et se trouvait au maximum qu'il ait atteint.

la tranchée varie seulement de 5 à 20 mètres, et de plus, outre qu'il y a beaucoup de terres et peu de roches dures, la disposition des lieux présente de grandes facilités pour la mise en dépôt des déblais.

A l'appui de notre dire, nous citerons les prix qui ont été payés par l'ancienne Compagnie pour les déblais exécutés entre le kilomètre 36 et 37,400 jusqu'à la fin de l'année 1887. Les déblais à enlever dans cette partie peuvent se diviser en $\frac{1}{3}$ dans les roches demi-dures, $\frac{1}{3}$ dans les terres et $\frac{1}{3}$ dans les roches dures, et le prix moyen a été de 1 piastre 60, ce qui, au taux de 4 fr. 40 la piastre, correspond à un prix de 7 francs (1).

Quoique les entrepreneurs eussent à payer 7 % pour location de matériel et d'immeubles, la meilleure preuve que le prix qui leur était accordé était suffisamment élevé, c'est qu'ils ont tous gagné des sommes considérables.

Les considérations d'après lesquelles la Commission a cru devoir fixer à 9 francs le prix des terrassements à Empéador, n'existent pour ainsi dire plus dans les conditions dans lesquelles nous nous sommes placé, et d'après lesquelles la tranchée n'a plus que des proportions ordinaires, et n'attaque qu'à peine les roches dures, tout en conservant de grandes facilités de décharge.

Pour la Culebra, nous majorerons le prix précédent de 1 franc, à cause des sujétions, peu importantes d'ailleurs, qui résulteront de la plus grande hauteur de la tranchée.

Le prix de ces déblais sera donc en moyenne de 8 francs.

Il n'échappera d'ailleurs à personne que, grâce au profil en long que nous avons adopté, et au temps considérable dont on disposera pour exécuter un tube relativement faible, ces prix seront au moins aussi rémunérateurs que ceux de 9 et 10 francs fixés par la Commission.

5° ET 6° ENTRE LES ÉCLUSES DE PARAISO ET DU PEDRO-MIGUEL.

Nous appliquerons le prix de 8 francs par mètre cube pour les roches, et 5 fr. 50 pour les parties terreuses, soit un prix moyen de 7 francs comme dans la tranchée d'Empéador.

De même entre Pedro Miguel et Miraflorés, nous appliquerons ce prix moyen de 7 francs.

1. La valeur de la piastre colombienne, qui correspond à notre pièce de 5 francs en argent, est très variable, car elle est soumise aux fluctuations du change. Au commencement des travaux du canal cette valeur atteignait presque 5 fr., tandis qu'elle est tombée ensuite à 3 fr. 50 et même plus bas. Dans la plupart des cas elle était comptée, par la Compagnie aux entrepreneurs, comme ayant une valeur de 4 fr. 40.

7° BIEF MARITIME DU PACIFIQUE.

Dans cette partie, tous les déblais seront enlevés sans aucun travail préparatoire avec les dragues marines ou à longs couloirs, de sorte que le prix de revient ne s'élèvera pas au-dessus de 2 fr. 50.

8° PLUS-VALUE POUR BARRAGES EN TERRE DE BAS-OBISPO, PARAISO, PEDRO-MIGUEL ET MIRAFLORES.

Nous croyons qu'en attribuant un supplément de prix de 2 francs par mètre cube pour les déblais employés à la confection de ces ouvrages, on pourra exiger un triage et un emploi de ces matériaux satisfaisant à toutes les règles consacrées actuellement par la pratique de ces sortes de travaux.

9° FOUILLES DES ÉCLUSES.

Nous admettons, quoiqu'il nous paraisse un peu élevé, le même prix que celui adopté par la Commission, soit 15 francs par mètre cube.

10° FOUILLES DES BARRAGES

Ces fouilles, ne devant être faites que dans les parties non rocheuses, nous réduirons ce chiffre à 10 francs le mètre cube.

II Ouvrages d'art.

Nous avons déjà dit que la Commission avait fait justice des appréciations pessimistes tendant à faire croire que l'exécution des maçonneries serait très difficile et très onéreuse dans l'isthme.

On sait qu'elle a déclaré que l'on trouverait presque à pied d'œuvre tous les moellons nécessaires, et que le sable pourrait aussi y être amené à un bon marché relatif. Il n'y aura donc à faire venir d'Europe que la chaux et le ciment. Étant donné la différence assez faible (environ 1/8) entre le prix du mètre cube de maçonnerie exécutée avec de la chaux, et celui de la maçonnerie avec mortier de ciment, nous emploierons exclusivement ce dernier.

D'après la Commission, le prix de revient dans l'isthme de la tonne de ciment de Boulogne, ou de qualité analogue, sera, y compris le transport à pied d'œuvre, de 95 francs (1).

Dans ces conditions, et d'après la Commission, le prix du mètre cube de mortier de ciment sera de 65 francs, se décomposant ainsi :

1. *Remarque.* — Le prix de revient dans l'isthme de la tonne de chaux ne serait que de 75 francs soit environ les 3/4 de celui de la tonne de ciment. Mais il faut considérer que dans un m³ de maçonnerie, le prix du ciment ou de la chaux ne rentre que pour environ 1/5, de sorte que le prix du mètre cube de maçonnerie avec mortier de ciment n'est que d'une dizaine de francs supérieur à celui de la maçonnerie faite avec de la chaux.

Sable, 1 mètre cube à 19 francs	19.00
Ciment, 450 kilogrammes à 95 francs	42.75
Façon	3.25
Total.	<u>65.00</u>

En ce qui concerne la main-d'œuvre, ainsi que nous l'avons déjà dit, nous croyons qu'il faudra faire les sacrifices nécessaires pour attirer dans l'isthme de bons maçons européens.

On pourra avoir ainsi d'excellentes maçonneries, absolument comparables aux meilleures qui s'exécutent en France, et cela sans augmentation de prix, l'économie réalisée sur la quantité de mortier compensant les frais supplémentaires résultant des salaires plus élevés que nous attribuerons aux ouvriers. Nous élèverons donc le prix de la journée d'un maçon à 20 francs, et celui de la journée de manœuvre à 8 francs, et, dans cette hypothèse, le prix du mètre cube de maçonnerie sera le suivant :

1° Béton de ciment :

Même prix que celui adopté par la Commission, soit 67 francs par mètre cube.

2° Maçonnerie de moellons avec mortier de ciment :

1 ^m ,10 de moellons à 15 francs.	16.50
0 ^m ,40 de mortier de ciment à 65 francs	26. »
Main-d'œuvre : 6 heures de maçon à 2 francs, et 6 heures de manœuvre à 0 fr. 80	16.80
Frais généraux et bénéfices 35 %	19.60
	<u>78.90</u>

Soit, en chiffre rond, 79 francs (').

3° Pour la pierre de taille, nous prendrons le même chiffre que celui adopté par la Commission, c'est-à-dire 160 francs par mètre cube.

III Expropriations.

1° GRAND LAC

Nous commencerons ce chapitre en citant un paragraphe de la lettre écrite au « *Star and Herald* » par M. Wyse, lors de son départ de l'isthme, et datée de Panama le 20 janvier 1891 (2) :

1. Le prix prévu par la Commission est de 78 francs se décomposant de la manière suivante :

Maçonnerie de remplissage avec mortier de ciment

1 ^m ,10 de moellons à 15 francs	16.50
0 ^m ,45 de mortier de ciment à 65 francs	29.25
Main d'œuvre	12.25
35 % environ pour frais généraux et bénéfice.	20.00
	<u>78.00</u>

2. Ces lignes ont été écrites avant que nous eussions connaissance du rapport de M. Wyse.

« Les propositions à forfait, relatives aux expropriations futures pour le canal, qui m'ont été faites par un syndicat local très important, ont patriotiquement et habilement démontré que les prévisions de la savante Commission internationale étaient, sur ce chef, exagérées du plus du double, sans doute par manque de pratique des choses de l'isthme. »

Pour bien faire comprendre le sens de cette phrase, il faut dire que, lors des négociations de Bogota, M. Wyse avait d'abord demandé que le Gouvernement Colombien se chargeât de toutes les dépenses, qu'il y aurait lieu de faire pour l'acquisition des terrains nécessaires au canal, moyennant une somme fixe convenue d'avance.

Le Gouvernement Colombien n'ayant pas accepté ces conditions, M. Wyse, avant de signer le nouveau contrat, demanda des renseignements à Panama afin de se rendre compte si les sommes à payer de ce fait ne dépasseraient pas celles prévues par la Commission. Aussitôt, il se forma un syndicat de notables Colombiens qui se fit fort d'acheter tous les terrains nécessaires pour une somme bien inférieure à celle déjà prévue.

Du reste, en examinant le rapport de la Commission, il est aisé de se rendre compte, pour quelqu'un qui connaît bien le pays, que les évaluations auxquelles elle a cru devoir s'arrêter, sont notablement exagérées, ce qui tient sans doute à ce qu'elles reposent sur des données souvent inexactes.

La Commission reconnaît que la Compagnie s'est constituée un domaine de 14 à 15,000 hectares, au prix moyen de 100 à 120 francs l'hectare, et, partant de là, elle a évalué à 200 francs par hectare l'achat des terrains qui sont encore nécessaires. Or, il faut remarquer que les terrains que la Compagnie a déjà acquis sont en bordure du canal, du P.R.R. et du Chagres, et, par suite, ont une valeur beaucoup plus grande que ceux qui sont encore à acquérir, et qui sont situés, en grande partie, dans une zone éloignée des voies de communications actuelles.

De plus, personne dans l'isthme n'ignore la façon défectueuse dont a procédé l'ancienne Compagnie pour l'achat de ces terrains, et tout le monde reconnaît qu'elle aurait pu les obtenir à des prix notablement inférieurs.

Pour ces deux raisons, nous estimerons à 120 francs le prix moyen par hectare, et encore croyons-nous que ce sera là un maximum rarement atteint.

D'autre part, en ce qui concerne les indemnités à accorder aux colons ayant établi des plantations sur ces terrains, nous croyons qu'en admettant que la surface à inonder est au $\frac{3}{4}$ cultivée, la Commission a commis, une légère exagération.

Nous admettons néanmoins cette proportion pour les 4,000 hectares qui correspondent à la surface occupée par les deux lacs de la

Commission, et nous ferons remarquer que, dans les conditions où nous nous sommes placé, l'immense surface inondée entre Bohio et San Pablo, en plus de celle déjà noyée dans le projet de la Commission, est presque complètement inculte, et qu'en admettant que $1/4$ est cultivé, nous serons très au-dessus de la vérité.

Nous supposerons donc que la surface totale du grand lac d'aménagement des eaux du Chagres comprend :

4,000 hectares cultivés aux $3/4$, soit 3,000 hectares cultivés,					
6,170	—	—	$1/4$,	—	1,542
<u>10,170</u>					<u>4,542</u>

ce qui revient à dire que la proportion cultivée est un peu inférieure à $2/5$.

Quant à l'indemnité à accorder aux cultivateurs du sol, nous croyons que le chiffre de 1,200 francs par hectare, adopté par la Commission, en se basant sur les prix payés par l'ancienne Compagnie, est notablement trop élevé, et cela non seulement parce que les indemnités allouées par ladite Compagnie l'ont été avec une largesse exagérée, pour ne pas dire plus, mais encore parce qu'il ne faut pas perdre de vue qu'elles s'appliquaient à des cultures placées en bordure du Canal, et, par suite, ayant une valeur bien plus élevée, à cause de leur grande facilité d'exploitation, que la plus grande partie de celles que nous avons à acquérir.

Enfin, il faut remarquer qu'une partie importante de ces cultures ont été faites par des noirs des Antilles, surtout des Jamaïcains, depuis que les travaux du Canal sont suspendus. Or, pour toutes les personnes qui connaissent les mœurs de ces gens-là, il n'est pas douteux que, dès que les travaux du canal recommenceront, ils n'abandonnent leurs plantations pour aller gagner un salaire beaucoup plus élevé que celui que pourraient leur produire leurs cultures. Il n'y a absolument que les indigènes qui se livrent d'une façon permanente à l'agriculture et qui conservent soigneusement les terrains qu'ils ont défrichés. Il n'y aura donc rien, ou presque rien, à payer à ces colons improvisés qui abandonneront spontanément leurs cultures, et qui forment actuellement le quart des cultivateurs actuels.

Pour ces trois raisons, nous croyons qu'un prix moyen de 800 francs par hectare cultivé sera parfaitement suffisant pour faire face à tous les dommages qu'il pourra y avoir lieu de payer.

D'ailleurs, sans faire entrer en compte cette considération, nous ne croyons pas inutile de faire remarquer que tous les terrains situés en bordure des lacs, ou transformés en îles, bénéficieront d'une plus-value considérable. Si les plantations déjà faites dans l'isthme se trouvent généralement sur les bords des rivières, ce n'est pas que le terrain leur soit plus favorable, car c'est le contraire qui a

lieu, mais uniquement parce que ces rivières leur servent de voies de communication. D'après l'avis même des gens du pays, les cultures habituelles, telles que la banane, le maïs, le manioc, etc., poussent mieux sur les coteaux que dans les vallées étroites, et les bords des lacs leur offriront des emplacements éminemment favorables.

En ce qui concerne les maisons et les ranchos composant les villages actuels, nous croyons aussi que l'indemnité à payer à leurs propriétaires sera beaucoup moins élevée que ne l'a supposé la Commission.

Il faut en effet remarquer que ces villages ne doivent leur importance qu'aux travaux du Canal et qu'avant ces travaux ils ne se composaient que de quelques misérables ranchos. Pendant la période des travaux de véritables maisons en bois ont été construites, soit par des négociants pour en faire des magasins, soit par des propriétaires pour en tirer un loyer élevé, mais ces agglomérations ne se sont ainsi fondées qu'à proximité des chantiers, et ce n'est qu'à cela qu'elles ont dû leur prospérité éphémère n'ayant par elles-mêmes aucune existence propre et vivant uniquement des salaires des ouvriers du Canal.

C'est pour cela que lorsque les travaux ont été suspendus, ces villages ont perdu immédiatement l'importance factice qu'ils avaient acquise et sont presque revenus à leur ancienne situation.

Aussi, ces nombreuses maisons, construites dans un moment prospère, sont-elles maintenant inhabitées pour la plupart ou envahies par des gens qui ne paient aucun loyer. Toutes d'ailleurs sont dans un état déplorable par suite du manque complet d'entretien et leur valeur intrinsèque elle-même va en diminuant rapidement.

D'après cet aperçu on peut se rendre compte que ces maisons n'ont actuellement que très peu de valeur et que les évaluations de la Commission, faites sur des bases anciennes et dans des conditions tout à fait différentes, sont par suite considérablement exagérées. Il faut d'ailleurs bien se rendre compte que dans le nouveau projet, il n'y aura aucun chantier entre Bohio et Bas-Obispo, et par suite, que les villages de Tavernilla, San Pablo, Gorgona, Matachin, etc., seront presque absolument désertés par leurs habitants qui se porteront aux endroits où seront installés les grands chantiers, Bohio, Bas-Obispo, Paraiso, etc. Plusieurs sans doute déménageront en emportant avec eux leurs maisons en bois qu'ils iront construire là où elles pourront leur rapporter un certain intérêt.

Par suite de toutes ces considérations, nous croyons que les prix de la Commission doivent être considérablement réduits et qu'on sera au-dessus de la vérité en estimant les maisons à 5.000 francs, en moyenne, et à 1.000 francs les ranchos.

Dans ces conditions et en remarquant que les 10.170 hectares

occupés par le grand lac d'aménagement des eaux du Chagres se répartissent de la manière suivante :

842 hectares appartenant à la Compagnie du P. R. R.			
1.598	—	—	au Gouvernement Colombien,
2.724	—	—	à la Compagnie du Canal,
5.006	—	—	à des particuliers.

total... 40.470 hectares

et que, par suite des traités passés par la Compagnie du Canal avec le Gouvernement et la Compagnie du P. R. R., il n'y aura rien à payer à ces deux propriétaires; on voit qu'il n'y aurait à acquérir que 5,006 hectares qui, au prix de 120 francs l'hectare, occasionneraient une dépense égale à :

$$5.006 \times 120 = 600.720 \text{ fr.}$$

D'autre part le montant total de l'indemnité à payer aux cultivateurs serait de :

$$4.542 \times 800 = 3.633.600 \text{ fr.}$$

Enfin les sommes à payer aux propriétaires d'habitations seraient les suivantes :

Bohio . . .	} 10 ranchos. . . .	10.000	} 10.000 fr.
		10 maisons. . . .	
Buenavista..	} 70 maisons. . . .	350.000	} 370.000
		20 ranchos. . . .	
Frijolès . . .	} 15 maisons. . . .	75.000	} 90.000
		15 ranchos. . . .	
Tavernilla . . .	} 80 maisons. . . .	400.000	} 440.000
		40 ranchos. . . .	
San Pablo. . .	} 110 maisons. . . .	550.000	} 570.000
		20 ranchos. . . .	
Mamei . . .	} 20 maisons. . . .	100.000	} 115.000
		15 ranchos. . . .	
Juan-Grande .	} 15 maisons. . . .	75.000	} 105.000
		30 ranchos. . . .	
Gorgona. . .	} 130 maisons. . . .	650.000	} 690.000
		40 ranchos. . . .	
Matachin . . .	} 150 maisons. . . .	750.000	} 850.000
		100 ranchos. . . .	
Las Palmitas .	} 20 maisons. . . .	100.000	} 105.000
		5 ranchos. . . .	
Bas-Obispo..	} 15 maisons. . . .	75.000	} 75.000
		maisons. . . .	
Gamboa . . .	} 10 ranchos. . . .	10.000	} 10.000
		maisons. . . .	
Cruces . . .	} 40 maisons. . . .	200.000	} 240.000
		40 ranchos. . . .	
Palo-Grande Pihiva, La Can- tadora, Chilibre et el Limon	} maisons. . . .		} 50.000
		50 ranchos. . . .	
Total. . . .			3.720.000 fr.

Soit en récapitulant;

Achat du sol.	600.720 fr.
Indemnités pour culture.	3.633.600
Achat des habitations.	3.700.000
<hr/>	
Total des expropriations pour le grand lac.	<u>7.954.320 fr.</u>

2° LAC SUPÉRIEUR

Nous croyons qu'en admettant que la moitié de la surface inondée par ce lac est cultivée, nous serons dans des conditions très proches de la réalité mais que, à cause du moindre éloignement des cultures de la zone sur laquelle seront situés les chantiers il y a lieu de porter le montant des indemnités à payer aux colons à 1.000 francs l'hectare.

La surface inondée étant de 634 hectares, l'indemnité totale s'élèvera à :

$$317 \times 1000 = 317.000 \text{ fr.}$$

Sur ces 634 hectares

	179 appartenant à la Compagnie du P. R. R.,
et 271	— à la Compagnie du Canal.
total.....	<u>450 hectares.</u>

il n'y aura donc à acquérir que :

$$634 - 450 = 184 \text{ hectares}$$

A cause de la proximité de ces terrains de la zone habitée nous majorerons de 1/3 le chiffre indiqué plus haut pour l'acquisition du sol dans le grand lac, c'est-à-dire que nous le porterons à 160 francs l'hectare, de sorte que la somme à payer de ce chef sera de :

$$184 \times 160 = 29.440 \text{ fr.}$$

Quant aux prix à payer aux propriétaires d'habitations, ils seront d'après les bases déjà indiquées ceux ci-après :

Bas-Obispo	} 20 maisons. 100.000	} 110.000 fr.
Haut-Obispo	} 70 maisons. 350.000	} 380.000
Las Cascadas	} 80 maisons. 400.000	} 420.000
Total.		<u>910.000 fr.</u>

Soit pour le montant total des indemnités à payer pour le lac supérieur :

Acquisition des terrains.	29.000 fr.
Indemnités aux cultivateurs.	317.000
id. aux propriétaires d'habitations.	910.000
	<u>1.256.440 fr.</u>

3° PETITS LACS DE L'ATLANTIQUE ET DU PACIFIQUE

Tous les terrains qu'occuperont ces lacs appartiennent à la Compagnie du Canal, de sorte qu'il n'y aura à payer que les indemnités dues aux cultivateurs et aux propriétaires d'habitations.

La surface totale de ces lacs étant de 350 hectares, l'indemnité à payer aux cultivateurs, d'après les mêmes hypothèses que celles admises pour le lac supérieur, sera de :

$$175 \times 1000 = 175.000 \text{ fr.}$$

Quant à celle à payer aux propriétaires d'habitations, nous croyons qu'elle se rapprochera de la suivante

pour 200 maisons.	1.000.000	} 1.150.000 fr.
pour 150 ranchos.	150.000	

soit en tout :

$$175.000 + 1.150.000 = 1.325.000 \text{ fr.}$$

La somme totale à payer pour les expropriations sera donc égale à

Grand lac.	7.954.320 fr.
Lac supérieur.	1.256.440
Petits lacs.	1.325.000
Total	<u>10.535.760 fr.</u>

Nous compterons en forçant un peu sur un chiffre total de 11 millions (1).

1. D'après le rapport de M. Wyse, le Syndicat de notables colombiens se chargerait de l'achat du sol et des indemnités de toutes sortes moyennant une somme à forfait de 6 millions pour une surface inondée de 9,000 hectares. En admettant la même proportion pour les 11,150 hectares qui seraient submergés dans notre projet on arrive seulement au chiffre de 7.450.000 fr.

CHAPITRE VIII

ÉTAT ESTIMATIF DES DÉPENSES

En appliquant les prix que nous venons d'établir dans le chapitre précédent, les dépenses à exécuter pour l'achèvement du canal peuvent être résumées par le tableau suivant :

Article premier. — Terrassements.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES	QUANTITÉS	PRIX D'APPLICA- TION	DÉPENSES	
			PARIELLES	Totalisées.
<i>1° Canal proprement dit.</i>	m ³	fr. c.		
Bief maritime du côté de l'Atlantique	2.148.280	3.50	7.518.980	
1 ^{er} bief (Atlantique)	2.200.000	2.50	5.500.000	
2 ^o bief id.	345.820	5.50	1.902.010	
Bief de partage (de Bas-Obispo à la Culebra).	84.100	5.50	462.550	
	2.640.000	7 »	18.480.000	
	3.209.000	8 »	25.672.000	
2 ^o bief. Pacifique	282.300	7 »	1.976.100	
1 ^{er} id. id.	693.400	7 »	4.853.800	
Bief maritime du côté du Pacifique	5.800.000	3.50	20.300.000	
	1.400.000	2.50	3.400.000	90.063.440
<i>2° Fouilles des Ecluses</i>				
Ecluse N° 1 (Bohio)	407.600	15 »	6.114.000	
» 2 et 3 (Bohio)	339.460	15 »	4.091.900	
» 4 et 5 (Bas-Obispo)	220.000	15 »	3.300.000	
» 6 et 7 (Paraiso)	160.000	15 »	2.400.000	
» 8 et 9 (Pedro Miguel)	540.000	15 »	8.100.000	
» 10 (Miraflores).	210.000	15 »	3.150.000	27.155.900
A reporter				117.221.340

DÉSIGNATION DES OUVRAGES	QUANTITÉS	PRIX D'APPLI- CATION	DÉPENSES	
			PARTIELLES	Totalisées
Report.				117.221.340
<i>3° Fouilles des barrages</i>				
	m ²	fr. c.		
Barrage principal	180.000	10 »	1.800.000	
Barrages déversoirs de Bohio				
1° à gauche	5.200	10 »	52.000	
2° à droite	8.300	10 »	83.000	
Barrage en terre de Bohio.	3.200	5 »	16.000	
d° d° Paraiso	5.040	10 »	50.400	
				2.001.400
<i>4° Bassins et garages</i>				
Chenal d'entrée à Colon	950.000	5.50	5.225.000	
Bassin de Colon	2.000.000	3.50	11.000.000	
» de Panama	1.500.000	5.50	5.250.000	
Garages { Bief maritime de l'Atlantique	1.218.000	3.50	4.263.000	
	260.000	7 »	1.820.000	
	450.000	3.50	1.575.000	
				29.133.000
<i>5° Dérivation du Chagres</i>				
Rive gauche {	N° 1 147.000	4.50	661.500	
	» 2 450.000	3.50	1.575.000	
	» 3 1.250.000	4.50	5.625.000	
Rive droite	pour mémoire	»	»	7.861.500
<i>6° Confection des barrages en terre</i>				
Barrage de Bas-Obispo	674.000	2 »	1.348.000	
d° de Paraiso.	112.000	2 »	224.000	
d° de Pedro Miguel.	470.000	2 »	940.000	
d° de Miraflores	40.000	2 »	80.000	
				2.592.000
<i>7° Préparation du sol à l'emplacement des barrages en terre</i>				
	m ²			
Barrage de Bas-Obispo	91.980	2.50	229.950	
» de Paraiso	33.600	2.50	84.000	
» de Pedro Miguel	116.350	2.50	290.875	
» de Miraflores.	21.600	2.50	54.000	
				658.825
Total des terrassements. . .				159.468.065

Art. 2 — Ouvrages d'art.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES	QUANTITÉS	PRIX D'APPLI- CATION	DÉPENSES		
			PARTIELLES	TOTALES	
1° Ecluse					
<i>(a) Ecluse simple de Bohio</i>		fr. c.	fr.		
Béton.	m ³ 31.000	67 »	2.077.000		
Maçonnerie de moellons	110.000	79 »	8.690.000		
id. de pierre de taille	1.500	160 »	240.000		
Plus-value pour parements vus.	33.600	16 »	537.600		
Portes.	m ² 1.420	1000 »	1.420.000		
Tuyaux de remplissage	kil. 3.744 000	0.55	2.059.200		
Vannes, machinerie et appareils de manœuvre.			376.200	fr.	15.400.000
<i>(b) Ecluses échelonnées de Bohio</i>					
Béton.	m ³ 61.000	67 »	4.087.000		
Maçonnerie de moellons.	155.000	79 »	12.245.000		
id. de pierre de taille.	2.500	120 »	300.000		
Plus-value pour parements vus.	60.000	16 »	960.000		
Portes	m ² 2.360	1000 »	2.360.000		
Tuyaux de remplissage	kil. 7.622.000	0.55	4.192.100		
Vannes, machinerie et appareils de manœuvre.			615.900		24.760.000
Ecluses de Bas-Obispo.					28.000.000
id. de Paraiso.					30.000.000
id. de Pedro Miguel.					26.000.000
id. de Miraflores.					18.000.000
Total pour les écluses					142.160.000
2° Barrages					
<i>(a) Grand barrage de Bohio</i>					
Pilotis (y compris le battage) m ³	13.000	125 »	1.625.000		
Béton.	73.440	67 »	4.900.000		
Maçonnerie de moellons	164.230	79 »	12.974.180		
Plus-value pour parements vus m ²	23.800	16 »	380.800		19.900.400
<i>(b) Barrage déversoir de gauche</i>					
Maçonnerie de moellons. . . . m ³	20.250	79 »	1.599.750		
id. de pierre de taille	300	160 »	48.000		
Plus-value pour parements vus m ²	2.700	16 »	43.200		
Barrage mobile, pont de service et appareils de manœuvre . . . m ¹	90	8000 »	720.000		2.410.950
A reporter					22.311.400

DÉSIGNATION DES MACHINES	QUANTITÉS	PRIX D'APPLI- CATION	DÉPENSES	
			PARTIELLES	TOTALISÉES
Report.				22.311.400
(c) <i>Barrage déversoir de droite</i>		fr. c.		
Mçonnerie de moellons . . m ³	37.200	79 »	2.938.800	
id. de pierre de taille . .	300	160 »	48.000	
Plus-value pour parements vus m ²	4.960	16 »	79.360	
Barrage mobile, pont de service et appareils de manœuvre. . ml	90	8000 »	720.000	3.786.160
(d) <i>Barrage de Paraiso</i>				
Mçonnerie de moellons . . m ³	37.800	79 »	2.885.200	
Plus-value pour parements vus m ²	5.520	16 »	88.320	2.973.520
(e) <i>Vannages régulateurs du niveau du lac supérieur et des petits lacs du Pacifique (en bloc).</i>				2.000.000
			Total des barrages . . .	31.071.080
			Total des écluses. . .	142.160.000
			Total des ouvrages d'art.	173.231.080

Art. 3. — Machines.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES	QUANTITÉS	PRIX D'APPLI- CATION	DÉPENSES	
			PARTIELLES	TOTALISÉES
Pompes rotatives y compris les conduites d'aspiration et de re- foulement, fondations, couver- ture, accessoires et montage . .	16	fr. 45.000	fr. 720.000	fr. 720.000
Turbines y compris fondations, couverture, accessoires et mon- tage.	16	65.000	1.040.000	1.040.000
Dynamos génératrices et acces- soires y compris le montage . .	32	50.000	1.600.000	1.600.000
Dynamos réceptrices et acces- soires y compris le montage . .	32	45.000	1.440.000	1.440.000
Conducteurs et isolateurs y com- pris la pose m ¹	800.000	4	3.200.000	
Poteaux avec supports d'isolateurs y compris la pose.	750	400	300.000	3.500.000
			Total pour les machines.	8.300.000

Art. 4. — Déviation du Chemin de fer.

La Commission d'études a admis que le prix de revient kilométrique serait de 250.000 francs, tandis que M. Rives, directeur de cette Compagnie, ne l'estime qu'à 225.000 francs. Néanmoins nous adopterons le chiffre prévu par la Commission, ce qui nous donnera pour une longueur de 40 kilomètres comprise entre Ahorca Lagarto et Miraflores

$40^k,000 \times 250.000 =$	10.000.000
Viaduc de Gamboa =	1.800.000
Total. . . .	<u>11.800.000</u>

Art. 5. — Expropriations

Nous avons vu que l'indemnité totale qu'il y aura lieu de payer aux propriétaires et aux occupants de terrains inondés s'élève à la somme de :

11 millions.

Art. 6. — Installation d'éclairage.

Nous admettons, comme la Commission d'études, que les frais de premier établissement de ces installations, nécessaires pour le service de nuit, s'élèvera à la somme de :

1 million.

Montant total de la dépense

ART. 1 ^{er} — Terrassements		159.468.065
ART. 2 — Ouvrages d'art {	Ecluses	142.160.000
	Barrages, déversoirs	31.071.080
ART. 3 — Machines		8.300.000
ART. 4 — Déviation du P. R. R.		11.800.000
ART. 5 — Expropriations.		11.000.000
ART. 6 — Installations d'éclairage.		1.000.000
	Total.	<u>364.799.000</u>

Si nous augmentons cette somme de 20 %, environ, pour faire face aux imprévus de toute sorte et aux ouvrages qu'il est impossible d'évaluer à l'avance, tels que revêtements de certaines parties de la

cuvette du Canal, épuisement des fouilles, etc., nous arrivons à un chiffre total de :

364. 799. 145
70. 200. 855
<hr/>
435. 000. 000

435 millions en nombre rond qui représente le montant des travaux proprement dits.

A ce chiffre il convient d'ajouter, ainsi que l'a fait la Commission, une somme de 10 % pour frais d'administration et de surveillance, soit :

43.500.000 fr.

ce qui élève le chiffre ci-dessus à

478.500.000 fr.

Enfin il y a lieu de tenir compte des charges financières qui pèseront nécessairement sur l'entreprise et que nous estimons comme l'a fait la Commission à 5 % pour les frais d'émission et à 6 % pour les intérêts à servir au capital pendant la période des travaux.

En remarquant que la durée des travaux pourra être aisément réduite à une période de 4 ans, la durée moyenne pendant laquelle il y aura lieu de servir cet intérêt ne sera que de 2 ans et le total des charges financières sera égal à :

Frais d'émission.	5 0/0
Intérêts	12 0/0
soit	<hr/>
	17 0/0

c'est-à-dire environ : 81.500.000 fr.

chiffre qui ajouté au précédent : 478.500.000

donne un total de 560.000.000 fr.

On sera sans doute frappé de l'écart considérable qui existe entre ce chiffre et celui de 900 millions, indiqué par la Commission d'études. Aussi ne croyons-nous pas inutile de faire remarquer que la diminution de dépense à laquelle nous sommes arrivé, ne résulte nullement d'une diminution des prix de revient ou d'une réduction des profils.

Partout où nous avons été placé dans des conditions analogues, nous avons adopté des prix au moins égaux à ceux de la Commission, et dans tous les autres cas nous avons établi nos calculs sur les plus larges bases.

C'est uniquement par suite des conditions particulières dans lesquelles nous nous sommes placé, que nous sommes arrivé à un prix total si peu élevé et il nous paraît bien certain que la mise à exécu-

tion du projet que nous avons exposé ici, loin de donner lieu à une dépense supérieure à celle prévue, permettrait au contraire de réduire cette somme dans une proportion très appréciable.

Il ne faut, en effet, pas perdre de vue que les chiffres donnés par la Commission et qui nous ont servi de point de départ sont, dans certains cas, plus que rémunérateurs et qu'il sera facile à une administration sage et intelligente, de les réduire dans une assez grande mesure.

CHAPITRE IX

PRODUIT DU CANAL

Ce chapitre est entièrement basé sur les considérations exposées dans le rapport n° 5 de la Commission d'études, au sujet du trafic probable que le Canal sera appelé à desservir et des dépenses qui seront nécessitées par son entretien et son exploitation.

En ce qui concerne le trafic, nous admettrons purement et simplement les chiffres adoptés par la Commission qu'il nous paraît difficile de mettre en doute.

Il en sera de même des dépenses relatives à l'exploitation et quant aux frais d'entretien, leur évaluation faite sur les mêmes bases ne différera de celle à laquelle Elle a cru devoir s'arrêter que par suite des circonstances particulières dans lesquelles nous nous sommes placé.

Nous renverrons donc au rapport précité pour tous les chiffres que nous lui avons empruntés et nous ne justifierons ici que ceux qui résultent des dispositions qui sont l'essence même de notre projet.

1° Dépenses d'Entretien, d'Administration et d'Exploitation

1° Dépenses d'entretien. — D'après la Commission, la valeur des terrassements exécutés par l'ancienne Compagnie peut être évaluée à :

110.000.000 fr.

La Commission évalue en effet à 400 millions le montant des terrassements qu'il faudra entretenir, et dans son projet il en reste à exécuter pour 290.000.000 de francs de sorte que la valeur des terrassements déjà exécutés est de :

$400.000.000 - 290.000.000 = 110.000.000$ fr.

ce qui, avec ceux qui restent à exécuter dans la solution que nous avons l'honneur de proposer, donne un total de :

$110.000.000 + 160.000.000 = 270.000.000$

En comptant pour l'entretien de ces terrassements, comme l'a fait la Commission, $1/2$ % et 1.000.000 de francs pour le curage des écluses

l'entretien et le renouvellement du gros matériel, nous obtenons une dépense annuelle de :

$$1.350.000 + 1.000.000 = 2.350.000 \dots \text{fr. } 2.350.000$$

L'entretien des écluses et des barrages (maçonneries seulement) devant être estimé à 1 % de leur prix de revient, la dépense due à cette cause sera, pour 157.000.000 de fr. 1.570.000

Enfin pour l'entretien des portes d'écluses, appareils de manœuvres, machines hydrauliques et électriques, partie mobile des barrages, nous compterons 5 % de leur valeur, soit pour 27.000.000 fr. 1.350.000
Ce qui donne un chiffre total de fr. 5.270.000

2° Dépenses administratives. — Dépenses de l'Administration centrale (même chiffre que la Commission). 700.000
Frais divers d'assemblées générales, publicité, agences etc., (même chiffre que la Commission)..... 200.000
Impôt de 0,06 pour 100 sur la valeur des titres et frais divers (chiffre proportionnel à celui de la Commission). 448.000
Service de santé, contentieux etc., (même chiffre que la Commission)..... 280.000
Total 1.628.000

3° Dépenses de l'exploitation. — Chiffre fixé par la Commission augmenté de 1/20 pour tenir compte de l'augmentation du personnel nécessité par le plus grand nombre d'écluses, soit 2.850.000

Le total des dépenses indiquées ci-dessus se répartit donc ainsi :

Entretien	5.270.000
Administration	1.628.000
Exploitation	2.850.000
Total	<u>9.748.000</u>

chiffre un peu inférieur à celui fixé par la Commission qui est de 10,095,000 de francs.

2° Recettes.

En ce qui concerne les recettes, nous ne ferons que rappeler les chiffres donnés par la Commission d'études.

Au bout de la quatrième année le transit atteindra :

4.100.000 tonnes

qui, au prix de 12 fr. 50 (chiffres adoptés par la Commission) par tonneau de jauge, produiront: fr.

$$4.100.000 \times 12.50 = 51.250.000$$

dont il faut déduire :

1° 5 % pour le Gouvernement Colombien. 2.562.500

2° les dépenses d'entretien et d'exploitation indiquées ci-dessus, soit..... 9.748.000 12.310.500

ce qui donne pour revenu net, francs... 38.939.500

Un calcul analogue montrerait qu'au bout de 8 ans d'exploitation, le tonnage atteignant 5.100.000 tonnes le revenu net sera de :

51.000.000 de francs environ

et qu'au bout de la douzième année, pour 6.000.000 de tonnes, il sera de

de 62.000.000 francs.

Sans vouloir insister sur la question financière qui ne fait pas partie de notre programme, nous croyons néanmoins devoir dire que dans notre opinion, il serait équitable de répartir ces revenus proportionnellement aux 450 millions auxquels la Commission a estimé la valeur des travaux et des installations exécutés par l'ancienne Compagnie et aux 560 millions à fournir par les nouveaux souscripteurs, les premiers ne devant d'ailleurs prendre part aux bénéfices que lorsqu'un intérêt de 4 ou 5 % aurait été assuré à ces derniers.

Dans ces conditions, les anciens porteurs de titres n'auraient rien à toucher pendant les premières années, mais au bout de douze années par exemple, ils recevraient sur les 450 millions auxquels leur créance aurait été réduite, un intérêt supérieur à 6 % puisque le capital à gager serait de: $450.000.000 + 560.000.000 = 1.010.000.000$ francs, et que les revenus nets atteindraient 62 millions.

CHAPITRE X

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Une des critiques que l'on ne manquera pas de faire au projet que nous venons d'exposer c'est que, à l'encontre des autres auteurs, au lieu de chercher à réduire le plus possible le nombre des écluses, nous avons au contraire porté ce nombre à son maximum.

Les considérations qui nous ont fait adopter cette solution, ont été, croyons-nous, suffisamment développées, et dans les lignes qui vont suivre, nous n'aurons pas d'autre but que de chercher à démontrer que les inconvénients résultant du grand nombre d'écluses, sont beaucoup plus apparents que réels, dans les conditions où nous sommes placé.

Le temps nécessaire pour le passage de ces écluses aura, il est vrai, une influence notable sur la durée totale de la traversée du Canal, mais il faut remarquer qu'une perte de temps encore plus considérable résultera dans tous les projets présentés jusqu'à ce jour, de ce que le chenal navigable ne sera qu'à simple voie sur la plus grande partie de son parcours. C'est une des considérations qui nous font croire que le Canal à double voie s'imposera dans un bref délai et c'est un des avantages de notre projet de se prêter plus que tout autre à la réalisation de ce desideratum.

Du moment que l'on est forcé de recourir à un canal à écluses, nous croyons que le nombre plus ou moins grand de celles-ci, ne changera pas son caractère et les marins qui consentiront à engager leurs navires dans ces appareils, se préoccuperont beaucoup moins de leur nombre, que de la sécurité et des facilités de manœuvre qu'ils présenteront et de la durée de la traversée du Canal.

Aussi croyons-nous qu'il faudra s'attacher à perfectionner autant que possible les engins employés en pareil cas, de façon à donner à ces manœuvres une précision pour ainsi dire mathématique et l'on conçoit que si cette condition peut être réalisée pour une écluse, elle pourra l'être pour toutes les autres, qui dans notre projet sont absolument identiques.

Nous estimons qu'il n'est pas sans intérêt de faire la comparaison entre le temps que nécessitera la traversée du Canal, d'après les dispositions préconisées par la Commission d'études et d'après celles auxquelles nous avons cru devoir nous arrêter. La Commission ne

s'explique pas sur la durée de la traversée du Canal par chaque bateau, ni sur les vitesses qui pourront être développées dans ses différents biefs. Elle indique simplement dans son tableau des distances de l'Europe aux divers ports du Pacifique que, sur l'économie de temps réalisée par le passage par le Canal, il y a lieu de retrancher un jour pour la traversée de l'isthme.

Nous croyons nous placer dans des conditions parfaitement réalisables en pratique en admettant que les vitesses que pourront prendre les navires seront de :

6 milles à l'heure ou 11 kil. 112 dans les biefs longs (1),

3 milles à l'heure ou 5 kil. 555 dans les biefs courts,

10 milles à l'heure ou 18 kil. 520 dans le grand lac.

En appliquant ces vitesses aux différentes parties en lesquelles peut se diviser le Canal, nous aurons :

Dans le projet de la Commission

2 écluses simples à 1 h. chacune = 2 h. pour 215 ^m × 2 =	0 ^h 430 m.
3 écluses doubles à 2 h. chacune = 6 h. pour 2 × 215 × 3 =	1.290
Lac supérieur (10 milles à l'h.) = 0.30 pour	9.260
Biefs longs (*) (6 milles à l'h.) = 5.20 —	59.470
Biefs courts (3 milles à l'h.) = 0.50 —	4.550
Total 14 h. 40'	<u>75.000</u>

Dans la solution adoptée

2 écluses simples à 1 h. chacune = 2 h. pour 215 × 2 =	0 ^h 430 m.
4 écluses doubles à 2 h. chacune = 8 h. pour 2 × 215 × 4 =	1.720
Grand lac (10 milles à l'heure) = 1.09 —	2.450
Biefs longs (6 milles à l'heure) = 4.08 —	45.970
Biefs courts (3 milles à l'heure) = 0.57 —	5.430
Total 16 h. 15'	<u>75.000</u>

soit une différence d'environ 1 heure 1/2 en faveur du projet de la Commission.

Mais il faut considérer que la durée théorique que nous venons de calculer, ne pourra être que fort rarement réalisée en pratique, car elle suppose que le Canal est partout à double voie, et de plus que les écluses sont constamment prêtes à recevoir les bateaux au fur et à mesure qu'ils se présentent.

Or, nous avons vu que la durée de la traversée de ces appareils serait d'après les hypothèses admises par la Commission, de deux heures, dans le cas où ils seraient employés à la manœuvre simultanée de bateaux marchant en sens contraire et de 1 heure 34 dans

1. On sait que le mille marin vaut 1852 mètres.

2. Le niveau du lac inférieur de la Commission n'étant qu'à la côte 15,00, tandis que la plaine de Tavernilla est à la côte moyenne de 11 ou 12, sa profondeur ne serait pas suffisante pour que les navires puissent s'y croiser et développer toute leur vitesse. La Commission indique d'ailleurs pour la traversée de ce lac, une cuvette de 21 mètres de largeur au plafond seulement.

celui où ils n'auraient à desservir que des navires marchant dans le même sens. Les navires arrivant dans les ports à des intervalles de temps très irréguliers et ne pouvant être ensuite éclusés que de deux heures en deux heures (en faisant abstraction des écluses extrêmes dont la durée de passage n'est que de 1 heure 4 minutes), il est rationnel d'admettre qu'ils éprouveront d'abord de ce fait un retard moyen de 1 heure. A cela il faudra ajouter les pertes de temps dues aux longues parties étroites du Canal dans lesquelles le croisement des bateaux sera impossible et qui occasionneront des retards plus ou moins grands suivant que la navigation se fera par navires isolés ou groupés en convoi.

C'est pour diminuer ces pertes que nous avons multiplié les garages dans le grand bief de l'Atlantique et que nous en avons placé un dans le bief de partage, et nous croyons qu'ils auront pour effet, de permettre la traversée du Canal tel que nous l'avons proposé, dans un temps notablement moindre que celui nécessité dans le projet de la Commission, mais qui, cependant, ne sera guère inférieur, en moyenne, à une journée.

Avec un Canal à double voie sur toute sa longueur, on conçoit qu'il sera possible de réduire cette durée moyenne à dix-huit et même quinze heures, si l'on arrive à réduire d'un tiers, par exemple, la durée du passage dans les écluses, réduction qui, si l'on se reporte aux exemples cités dans le chapitre qui a trait à ces ouvrages, pourra sans doute être facilement obtenue.

D'ailleurs au fur et à mesure que la rapidité de la traversée des écluses et le tonnage qui transitera par le Canal augmenteront, le besoin d'un Canal entièrement à double voie se fera de plus en plus sentir.

Ayant démontré que ce desideratum pourra être obtenu à l'aide d'une dépense supplémentaire d'environ 100 millions de francs, nous présumons qu'il y aura lieu de réaliser cette amélioration vers la huitième ou la dixième année après l'ouverture du Canal, c'est-à-dire, si les prévisions de la Commission se vérifient, lorsque le produit du Canal dépassera 51 millions et rapportera par suite plus de 5 % du capital qu'il y aura lieu de gager. Il ne faut pas perdre de vue que les voies ferrées qui s'établiront peu à peu, dans un avenir assez rapproché, à travers les Amériques du Nord et du Sud, tendront à restreindre le trafic destiné à passer par le Canal et que celui-ci ne pourra avantageusement lutter contre ses adversaires que s'il est suffisamment bien outillé pour pouvoir être traversé rapidement et en toute sécurité.

Le perfectionnement des moyens employés dès le début, augmentera, sans doute, les frais d'exploitation dans une proportion notable et cette considération conduit à l'adoption d'un Canal dont les frais de premier établissement soient le plus bas possible.

Nous avons déjà fait remarquer que la solution que nous avons

l'honneur de proposer a pour principe l'utilisation de la chute hydraulique créée par le barrage de Bohio.

D'après ce que nous avons dit aux chapitres consacrés à l'aménagement des eaux et à l'alimentation, on peut déduire que la force motrice ainsi obtenue sera plus que suffisante pour faire face à la consommation d'eau du bief de partage et il est naturel de chercher un emploi à l'excédant de travail gratuitement fourni par le Chagres.

En dehors de son utilisation pour la mise en mouvement des appareils de manœuvre des vannes, des barrages mobiles et des appareils des ports de Colon et de Panama, nous croyons qu'on pourra s'en servir très avantageusement pour fournir la force motrice nécessaire aux nombreux remorqueurs qu'il sera nécessaire d'avoir pour faciliter la traversée du Canal par les voiliers. On conçoit, en effet, qu'il sera très facile d'actionner ces remorqueurs soit à l'aide de machines à air comprimé, soit à l'aide de machines électriques. Dans le premier cas, les réservoirs à air comprimé, qui ne seraient autres que les flancs du bateau remorqueur, seraient chargés par des compresseurs mis en mouvement par les récepteurs hydrauliques, tandis que dans le second cas, on pourrait, ou bien se servir d'accumulateurs, ou bien avoir un fil conducteur transmettant d'une façon constante, au moteur, l'énergie électrique produite par la chute.

Enfin quoique l'industrie des deux villes de Colon et de Panama ne soit encore qu'à l'état naissant, nous croyons qu'on pourra trouver un certain profit en leur fournissant la force motrice dont elles auront besoin, notamment pour l'éclairage et la fabrication de la glace, d'autant plus que le prix du charbon y est relativement très élevé.

Ces considérations paraîtront peut être au premier abord étrangères à la question dont nous nous occupons ici, mais il ne faut pas perdre de vue que l'entreprise du Canal est avant tout une affaire industrielle et que, par suite, il y a [lieu de chercher à en retirer tous les bénéfices qu'elle est susceptible de produire. Aussi croyons-nous intéressant de faire remarquer que le mètre cube d'eau utile, emmagasiné par le grand lac d'aménagement des eaux du Chagres, ne reviendra, malgré la cherté des travaux dans l'isthme, qu'à un prix bien inférieur à celui obtenu par la création des barrages exécutés jusqu'à ce jour dans un but analogue.

Ainsi, par exemple, au barrage du Gouffre d'Enfer, sur le Furens, (près de Saint-Etienne) destiné à supprimer les effets nuisibles des crues de cette rivière et en même temps à emmagasiner une réserve suffisante pour compenser son faible débit d'étiage, le prix de revient du mètre cube d'eau retenu dans le réservoir, a été de 1 fr. 15, tandis que pour les 270 millions de mètres cubes compris entre

les côtes 30 et 33 du grand lac du Chagres, en supposant que ce cube fut le seul utile. Ce prix ne serait que de :

$$\frac{35.500.000}{225.000.000} = 0 \text{ fr. } 14$$

35.500.000 étant le montant des barrages de Bohio et des expropriations.

En réalité, tout le volume d'eau contenu dans le lac est utile, puisque la surélévation de niveau qu'il produit permet de diminuer l'importance des terrassements à exécuter dans le massif central et, si nous admettons, comme nous l'avons déjà fait, que sa profondeur moyenne est de 7^m,70 (1).

Ce volume total sera égal à :

$$90.000.000 \times 7.70 = 693.000.000$$

et son prix de revient à :

$$\frac{35.000.000}{693.000.000} = 0 \text{ fr. } 05 \text{ environ}$$

Nous ne croyons pas qu'un résultat aussi économique ait été réalisé jusqu'à ce jour.

Un fait semblable se dégage de la considération du prix de revient de la force motrice fournie à pied d'œuvre. Dans les conditions que nous avons admises, le travail transmis aux pompes serait de :

$$\frac{3645}{0,70} = 5207 \text{ chevaux}$$

Or si nous ajoutons aux frais d'établissement des barrages et d'expropriations, ceux résultant de l'installation des turbines, des dynamos et des conducteurs, nous obtenons un chiffre total d'environ 43 millions.

En admettant que les frais d'entretien des barrages s'élèvent à 1 %, ceux des machines à 5 % et que l'intérêt du capital engagé soit de 6 %, on trouve que la charge annuelle serait de :

$$260\ 000 + 500.000 + 2.580.000 = 3.340.000 \text{ fr.}$$

c'est-à-dire de :

$$\frac{3.340.000}{5207} = 641 \text{ fr, par cheval vapeur}$$

chiffre qui est loin d'être élevé, si l'on considère qu'en France le prix de revient du cheval produit par des machines à vapeur est d'environ 5 à 600 francs par an et que, dans l'isthme, ce dernier prix doit être majoré d'au moins 1/3.

De ce qui précède il résulte, qu'indépendamment de son utilisation

1. Ce chiffre est probablement un peu faible, car c'est en voulant éviter à tout prix le reproche d'employer des nombres en faveur de notre projet que nous y avons été conduit.

pour l'établissement du Canal interocéanique, le barrage de Bohio est susceptible de fournir une source de force motrice très économique et que dans un pays plus favorisé sous le point de vue du climat et des ressources, ce barrage pourrait être construit dans le seul but de créer une usine hydraulique.

La construction de ce barrage étant dictée par d'autres considérations, en réalité le prix de revient du cheval-vapeur à pied-d'œuvre, doit être calculé seulement d'après le prix d'installation des machines qui est égal, en déduisant celui des pompes, à :

$$8\,300.000 - 640.000 = 7.660.000$$

En admettant que les frais d'entretien et d'amortissement s'élèvent à 10 %₀, ce prix serait de :

$$\frac{766.000}{5207} = 147 \text{ fr.}$$

En présence d'un pareil résultat, on ne peut que regretter que l'isthme soit dépourvu de toute industrie capable d'utiliser une puissance aussi économique.

D'après ce qui a été dit au sujet de l'alimentation, on conçoit en effet qu'un très faible abaissement du plafond du Canal permettrait de créer une réserve capable de compenser la pénurie d'eau pendant la saison sèche de façon à avoir toujours à sa disposition le débit qu'on se serait fixé à l'avance.

Quoique nous ne possédions pas les renseignements suffisants pour être à même de formuler une idée précise à ce sujet, nous croyons cependant qu'il y aura lieu d'étudier si l'établissement d'une grande usine, mue par la force motrice considérée, ne pourrait pas être avantageux à l'entreprise en permettant de transformer à très bas prix les matières premières provenant du Pacifique et importées en Europe. Peut-être y aurait-il là un moyen de faire transiter par le Canal certaines marchandises, qui sans cela prendront la route du cap Horn ou des chemins de fer transcontinentaux (1).

On nous pardonnera cette digression en remarquant qu'elle est une preuve de notre désir de voir, non seulement le Canal se terminer, mais encore rapporter honneur et profit à ceux qui ont déjà eu, ou qui auront foi dans le brillant avenir réservé à cette entreprise.

1. Dans le cas où cette idée viendrait à être réalisée on pourrait augmenter la force motrice disponible à Bohio d'une quantité pour ainsi dire indéfinie en établissant un barrage de 20 ou 30 mètres de hauteur dans les défilés de la Campana et en créant ainsi un immense réservoir dans la vallée supérieure du Chagres. La construction de ce barrage, un peu au-delà de l'extrémité amont du grand lac, ne présenterait aucune difficulté car à cet endroit le Chagres coule dans une faille à parois rocheuses et très rapprochées et il serait facile, à l'aide du lac, d'amener par bateau les matériaux à pied d'œuvre. Nous ne croyons pas que l'établissement d'un pareil barrage dépassât une dépense de plus d'une dizaine de millions de francs.

Autant il est nécessaire de se tenir en garde contre les rêveurs et les utopistes qui, en cherchant à faire triompher une idée ou des procédés plus ou moins ingénieux, risqueraient de causer un désastre irréparable, autant il nous paraît sage et équitable de prendre en considération les efforts de toutes les personnes qui, de bonne foi, se sont passionnées pour cette question.

Une œuvre de cette importance ne peut être résolue par un seul, il est nécessaire que tous les gens de bonne volonté apportent leur pierre à l'édifice, et c'est dans le but d'accomplir ce devoir que nous avons écrit le résumé des études que nous a permis de faire notre long séjour dans l'isthme de Panama.

Malgré la préférence bien naturelle que nous avons pour la solution, que nous avons imaginée, nous admettons volontiers que le problème puisse en comporter d'autres et nous ajouterons que dans l'état actuel de la question la meilleure sera « *celle qui sera mise à exécution* ».

APPENDICE

A notre retour de Panama, c'est-à-dire quelques jours seulement avant la publication de cette étude, nous avons pu prendre connaissance du rapport de M. Wyse sur la mission dont il avait été chargé en Colombie, par M. le Liquidateur et qui est sans doute connu de la plupart de nos lecteurs.

On sait que ce rapport, outre le résumé des négociations du représentant de M. Monchicourt à Bogota, contient un projet d'achèvement du canal étudié par MM. Jacquemin et Sosa, sous la haute direction de M. Wyse, et dont la mise à exécution n'exigerait, d'après ses auteurs, qu'une somme de 600 millions et un délai de 8 ans.

Il n'entre nullement dans notre intention de faire une critique qui, malgré notre sincérité, ne serait sans doute, à cause de notre situation d'auteur d'un nouveau projet, pas considéré comme impartiale. Cependant, sans entrer dans aucun détail, nous croyons utile de faire, entre ce projet et celui que nous avons l'honneur de proposer, quelques rapprochements nécessaires pour bien mettre en lumière les avantages économiques de notre solution.

Nous avons déjà fait remarquer que, quoique le montant total des travaux auquel nous sommes arrivé n'atteigne pas les $\frac{2}{3}$ de celui prévu par la Commission d'Etudes, ce résultat avait néanmoins été obtenu par l'application de prix de revient très élevés. C'est autant pour rester fidèle au programme que nous nous étions tracé de rendre aussi facile que possible la comparaison de notre projet avec celui préconisé par ladite Commission, que pour éviter d'une façon absolue le reproche d'employer des prix élémentaires inférieurs à ceux consacrés par la pratique, que nous avons, dans bien des cas, adopté des prix qui dans l'exécution seraient sans doute loin d'être atteints.

Il s'ensuit que le coût total auquel nous estimons que l'achèvement du canal donnerait lieu est, en réalité, notablement exagéré. Il nous paraît difficile de préciser dans quelles proportions ce chiffre pourra être réduit en pratique, mais nous croyons intéressant de montrer ce qu'il deviendrait en adoptant les prix de revient qui ont servi à l'établissement de l'état estimatif des dépenses du projet de MM. Wyse, Jacquemin et Sosa.

Pour cela nous ramènerons le tableau des dépenses nécessitées par notre projet à une forme analogue à celle du devis du projet précité⁽¹⁾ que nous résumerons, et la comparaison des deux tableaux

(1) Voir pages 58 et 59 de l'ouvrage de M. Wyse.

ainsi obtenus montrera immédiatement de quelle nature et de quel ordre sont les différences.

D'après cela, les prix d'application portés dans la troisième colonne des deux tableaux ci-contre sont les prix moyens calculés pour chaque section ou chaque nature d'ouvrage. Quant aux quantités portées dans la deuxième colonne elles ne sont autres que la totalisation par article des travaux à faire dans chacun des deux projets.

Le rapport de M. Wyse n'indiquant pas les prix élémentaires relatifs aux ouvrages d'art, pour calculer dans quelle proportion il y aurait lieu de réduire le coût total des travaux de ce genre, dans notre projet, nous nous sommes basé sur ce que, à la page 151 de ce rapport, la première écluse de Bohio, c'est-à-dire l'écluse simple de Pena Blanca, n'était évaluée qu'à 12 millions. Le coût total de cette écluse, qui dans les deux projets devrait être identique, étant dans notre devis estimé à 15.400.000 nous sommes fondé à conclure que les prix de M. Wyse sont d'au moins $\frac{1}{5}$ inférieurs aux nôtres et c'est dans cette hypothèse que nous avons ramené le chiffre de 178.433.000, montant total de nos ouvrages d'art, au chiffre de 143.100.000 porté dans le tableau.

DEVIS RÉSUMÉ DU PROJET

DE

MM. WYSE, JACQUEMIN. & SOSA

DEVIS RÉSUMÉ DE NOTRE PROJET

avec application des prix de revient adoptés par M. Wyse

DEVIS RÉSUMÉ DU PROJET
de MM. Wyse, Jacquemin et Sosa.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES	QUANTITÉS	PRIX D'APPLICATION	DÉPENSES
	m ³	fr.	fr.
Canal, bassins et garages	1° Bief maritime de l'Atlantique.	8.206.000	3.60 29.512.000
	2° Bief supérieur	21.552.000	5.90 127.305.000
	3° Bief maritime du Pacifique . .	9.172.000	3.34 30.678.000
4° Dérivations	1.490.000	4.00 5.960.000	
5° Fouilles des écluses	1.510.800	10.88 16.445.000	
6° Ouvrages d'art			119.000.000
7° Chemin de fer			12.000.000
8° Eclairage électrique			1.000.000
Total pour les travaux prévu			342.000.000
9° {	Sommes à valoir, imprévus, di-		
	vers, 20 %	68.400.000	
	Frais généraux 10 %	34.200.000	
			102.600.000
			444.600.000
10° Expropriations			6.000.000
11° Gouvernement Colombien			14.000.000
			464.600.000
12° Charges financières			
Frais d'émission	5 %		
Intérêts à 6 % pendant 4 ans	24 %		
Total	29 %	soit .	134.734.000
Total définitif			599.334 000
Soit en nombre rond			600.000.000

DEVIS RÉSUMÉ DE NOTRE PROJET
avec application des prix de revient adoptés par M. Wyse.

DÉSIGNATION DES OUVRAGES	QUANTITÉS	PRIX D'APPLI-CATION	DÉPENSES
	m ³	fr.	fr.
Canal, bassins et garages	1° Bief maritime de l'Atlantique.	8.516.280	3.60 30.658.600
	2° Biefs intermédiaires	7.514.620	5.90 44.336.260
	3° Bief maritime du Pacifique	9.150.000	3.34 30.561.000
4° Dérivations.	1.847.000	4.00 7.381.000	
5° Fouilles des écluses	1.877.060	10.88 20.422.000	
6° Ouvrages d'art.			143.100.000
6° bis Machinerie.			8.300.000
7° Chemin de fer.			12.000.000
8° Eclairage électrique.			1.000.000
Total pour les travaux prévu.			297.759.260
9°	Sommes à valoir, imprévus, di-		
	vers, 20 %	59.551.852	
	Frais généraux 10 %	29.775.926	
			89.327.778
			387.087.038
10° Expropriations.			7.450.000
11° Gouvernement Colombien.			14.000.000
			408.537.038
12° Charges financières			
Frais d'émission	5 %		
Intérêts à 6 % pendant 2 ans.	12 %		
Total	17 %	soit .	69.451.296
Total définitif			477.988.334
Soit en nombre rond.			478.000.000

L'examen comparatif des deux tableaux qui précèdent montre clairement qu'en appliquant aux travaux à exécuter dans les deux projets les mêmes prix élémentaires, la solution que nous avons l'honneur de proposer ne coûterait que 478 millions au lieu de 600 millions nécessaires pour la réalisation de l'idée de M. Wyse. C'est donc une différence de 122 millions en faveur de notre projet.

Un pareil résultat se passe de commentaires, mais on nous permettra cependant de faire remarquer qu'il intéresse plus particulièrement les anciens porteurs de titres.

Il est en effet bien certain que ces derniers ne pourront retirer un intérêt quelconque qu'après que la part des nouveaux bailleurs de fonds aura été prélevée et que cette part sera d'autant plus grande que le capital qu'on leur demandera sera plus considérable. Pour que les ouvriers de la première heure puissent récupérer le maximum des sommes qu'ils ont engagées dans cette entreprise, il est donc indispensable qu'elle soit achevée avec la plus faible dépense possible.

On pourra nous objecter que le projet Wyse-Jacquemin-Sosa ne comporte que 6 écluses et que par suite les dépenses d'exploitation seront un peu plus faibles que dans le notre qui comprend dix de ces appareils. Nous croyons avoir démontré que le plus ou moins grand nombre d'écluses n'aura pas une influence sensible sur le trafic que le canal sera appelé à desservir. Quant à la réduction qui serait obtenue par la suppression du personnel de 4 écluses, elle serait sans doute plus que compensée par l'augmentation des dépenses d'entretien occasionnées par la grande tranchée de la Culebra.

De plus il faut remarquer que l'exécution du programme de M. Wyse exige une période de 8 années, tandis que le notre, d'après les hypothèses même de la Commission d'Etudes, peut être réalisé en moitié moins de temps. C'est donc quatre ans de plus que les anciens porteurs de titres devraient rester sans recevoir aucune rémunération.

Si nous admettons, comme nous l'avons déjà fait, que la valeur de l'actif de l'ancienne Compagnie soit de 450 millions et si nous estimons seulement à 5 % l'intérêt qui pourra être attribué à cette somme le seul fait de ce retard de 4 ans dans l'ouverture du Canal causerait, avec les intérêts cumulés, une perte de plus de 100 millions. Il y aurait donc lieu de majorer de cette somme tout projet d'achèvement exigeant un délai de 8 ans pour son exécution.

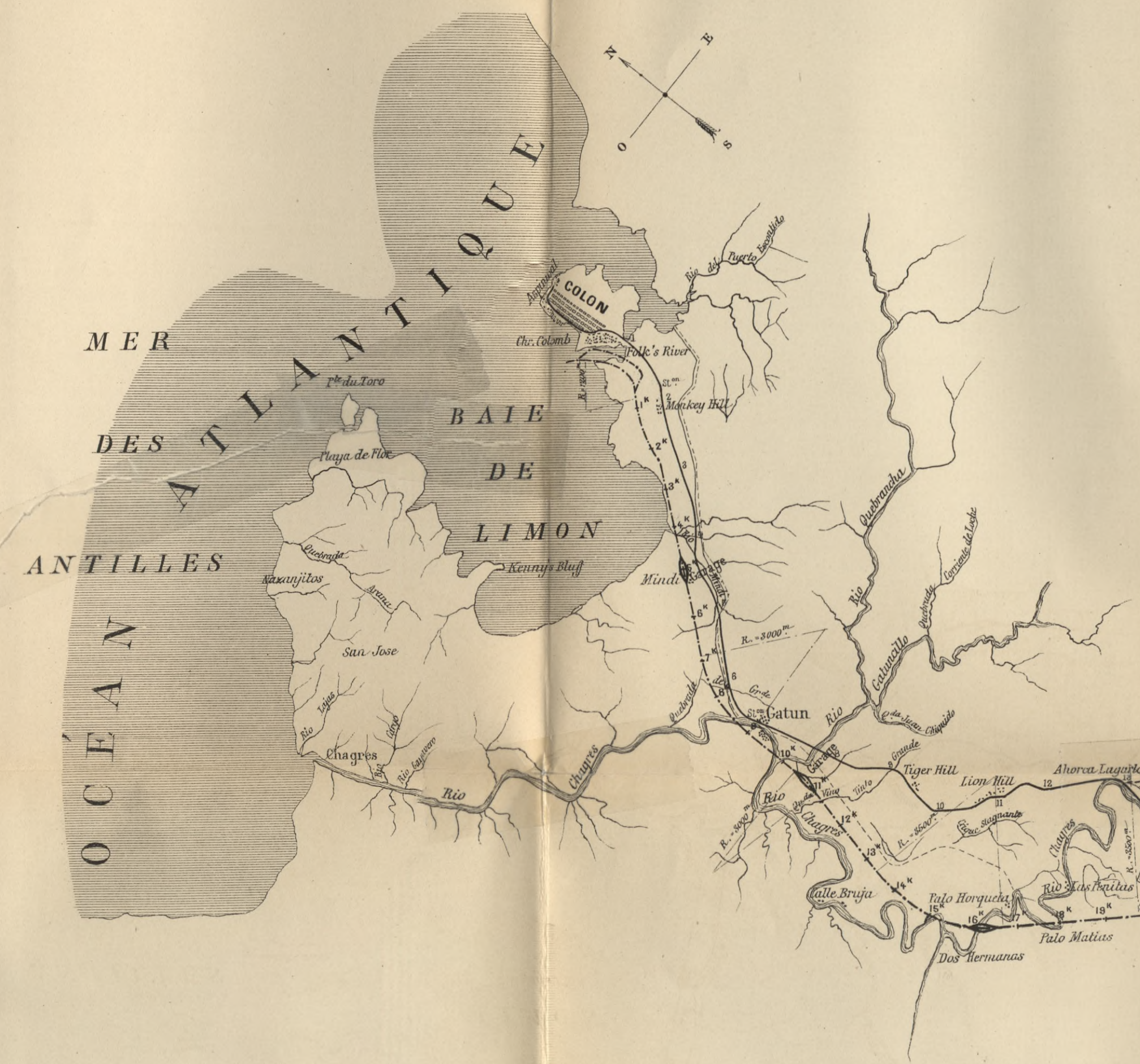
Enfin il ne faut pas perdre de vue que l'abaissement du plafond du bief supérieur à la côte 20, c'est-à-dire 20 mètres plus bas que dans notre projet, écarte toute idée de mise ultérieure du canal à double voie et nous avons fait remarquer qu'au bout d'un certain nombre d'années cette disposition deviendrait une question de vitalité pour l'entreprise.

N'ayant pas, ainsi que nous l'avons déjà dit, l'intention de faire une critique du projet que nous venons simplement de comparer au notre, nous n'insisterons pas sur le mode d'excavation et de transport des déblais adopté, pour la Culebra, par MM. Jacquemin et Sosa ni sur le barrage en terre que ces messieurs proposent de jeter de vive force sur le Chagres, à Bohio. Le premier de ces procédés est loin, quoiqu'en disent ses promoteurs, d'avoir fait ses preuves et d'être entré dans le domaine de la pratique. Quant à l'idée d'un barrage en terre sur le Chagres nous croyons que son procès a été suffisamment fait par la Commission d'études.



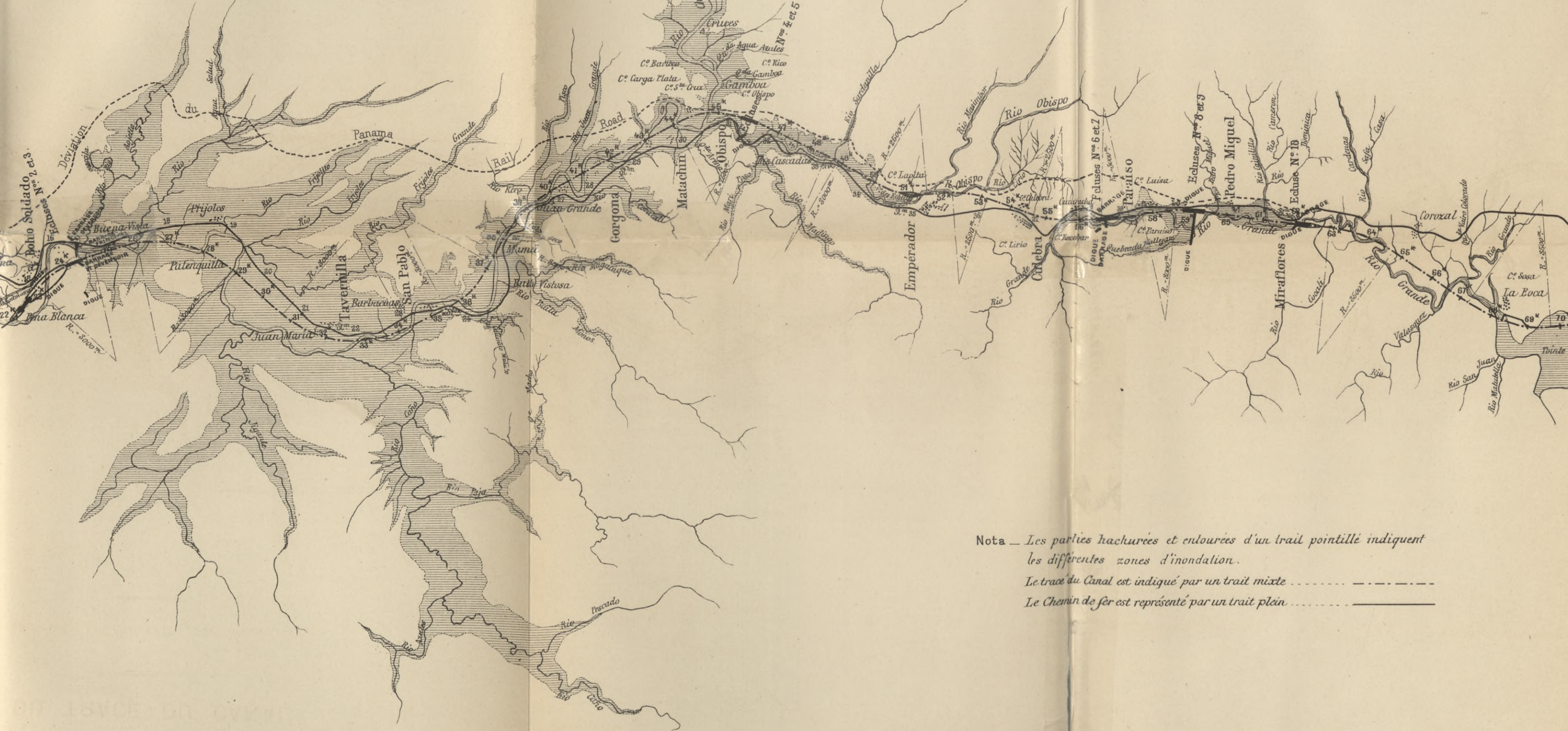
TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Avertissement	5
Introduction	9
Exposé général.	13
Profil en long	20
Profils en travers	26
Aménagement des eaux.	32
Ouvrages d'art	46
Alimentation.	64
Modes et délais d'exécution	77
Etablissement des prix de revient	80
Evaluation des dépenses.	91
Produit du Canal	97
Résumé et conclusions	100
Appendice.	108

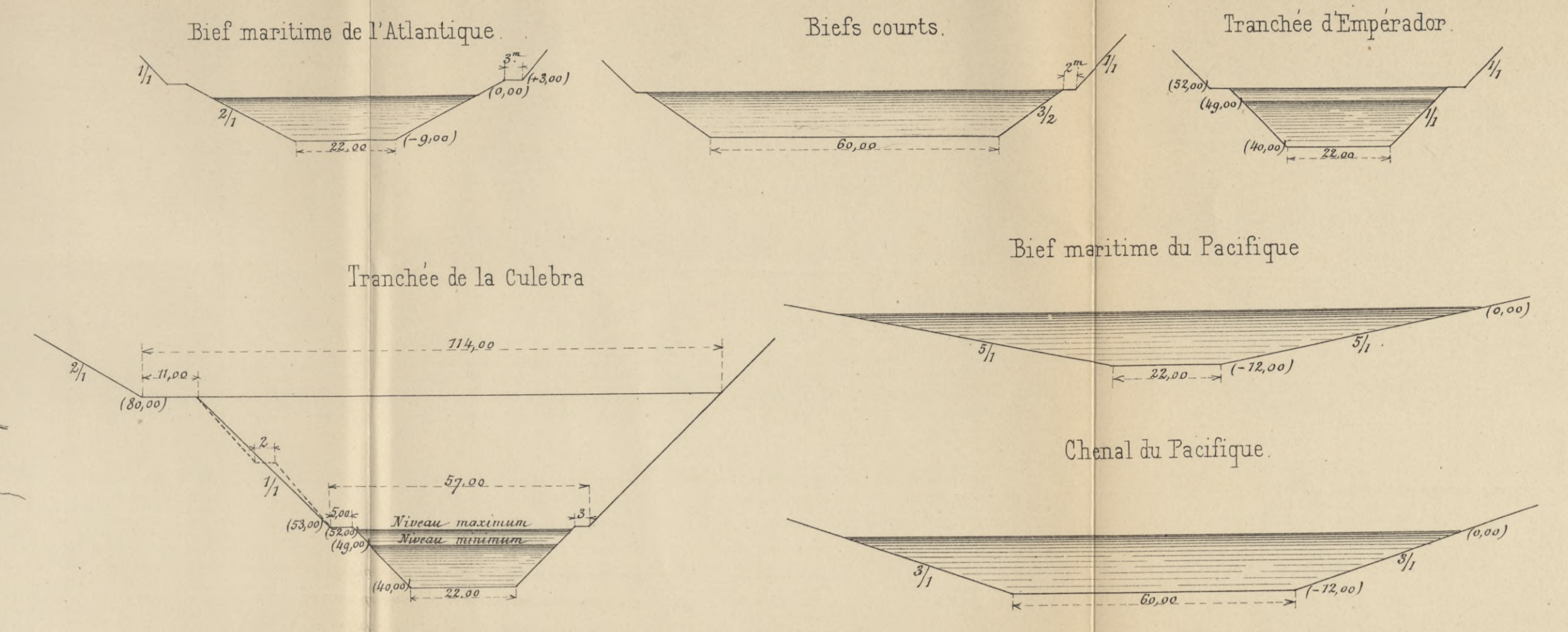


**PLAN GÉNÉRAL
DU TRACÉ DU CANAL**

Echelle de 1:100000 (1 Millimètre pour 100 Mètres)



Profils en travers ayant servi à la cubature des terrassements.

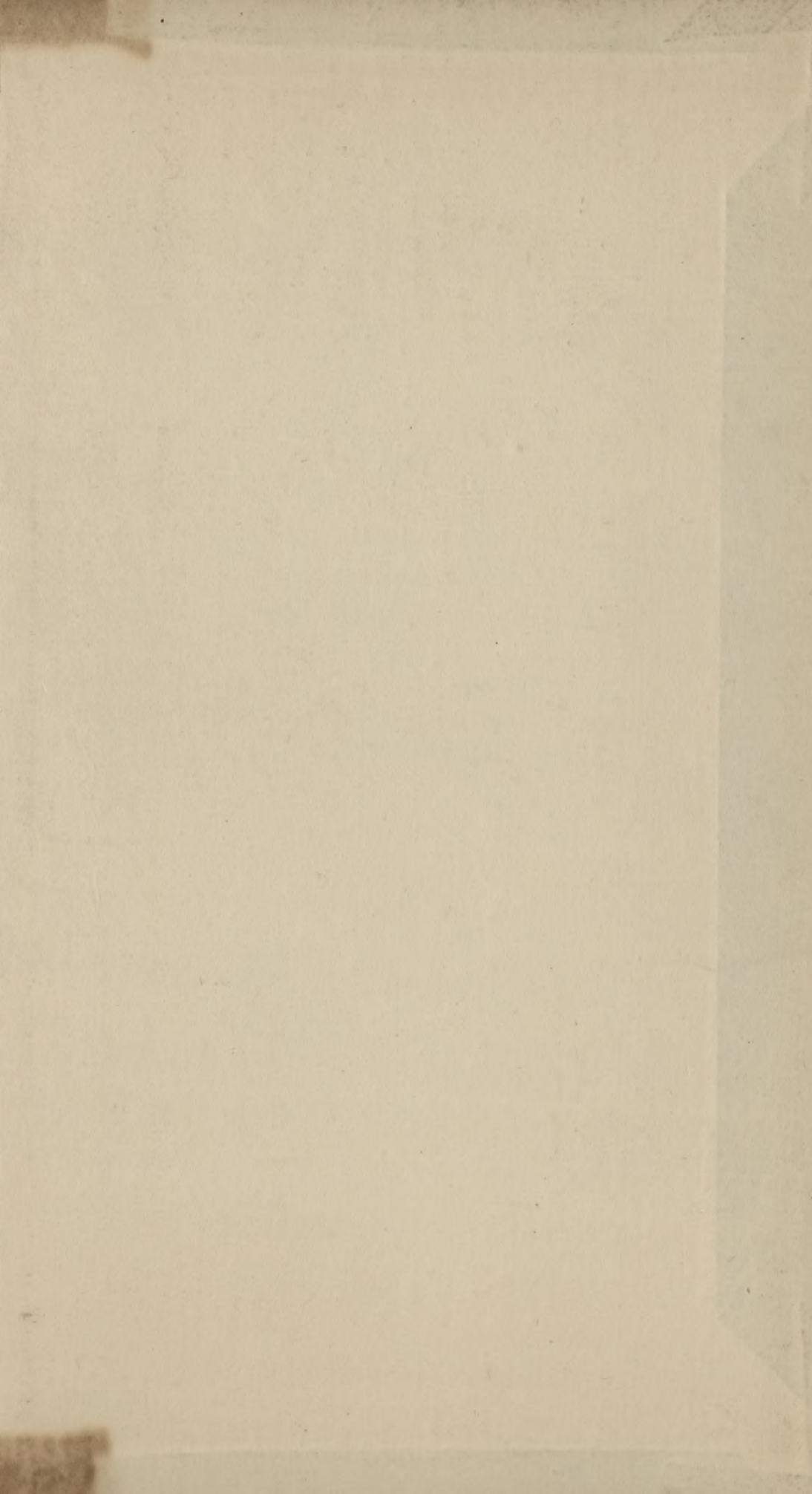


Nota — Les parties hachurées et entourées d'un trait pointillé indiquent les différentes zones d'inondation.
Le tracé du Canal est indiqué par un trait mixte
Le Chemin de fer est représenté par un trait plein

BIBLIOTEKA
KRAKÓW
Politechniczna







WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

III 16653
L. inw.

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000301635