

COMPAGNIE NOUVELLE

DU

CANAL DE PANAMA

RAPPORT

Présenté au Conseil d'Administration par le Comité Technique
constitué en vertu de l'article 31 des Statuts

PARIS
SOCIÉTÉ ANONYME DE PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

13, QUAI VOLTAIRE, 13

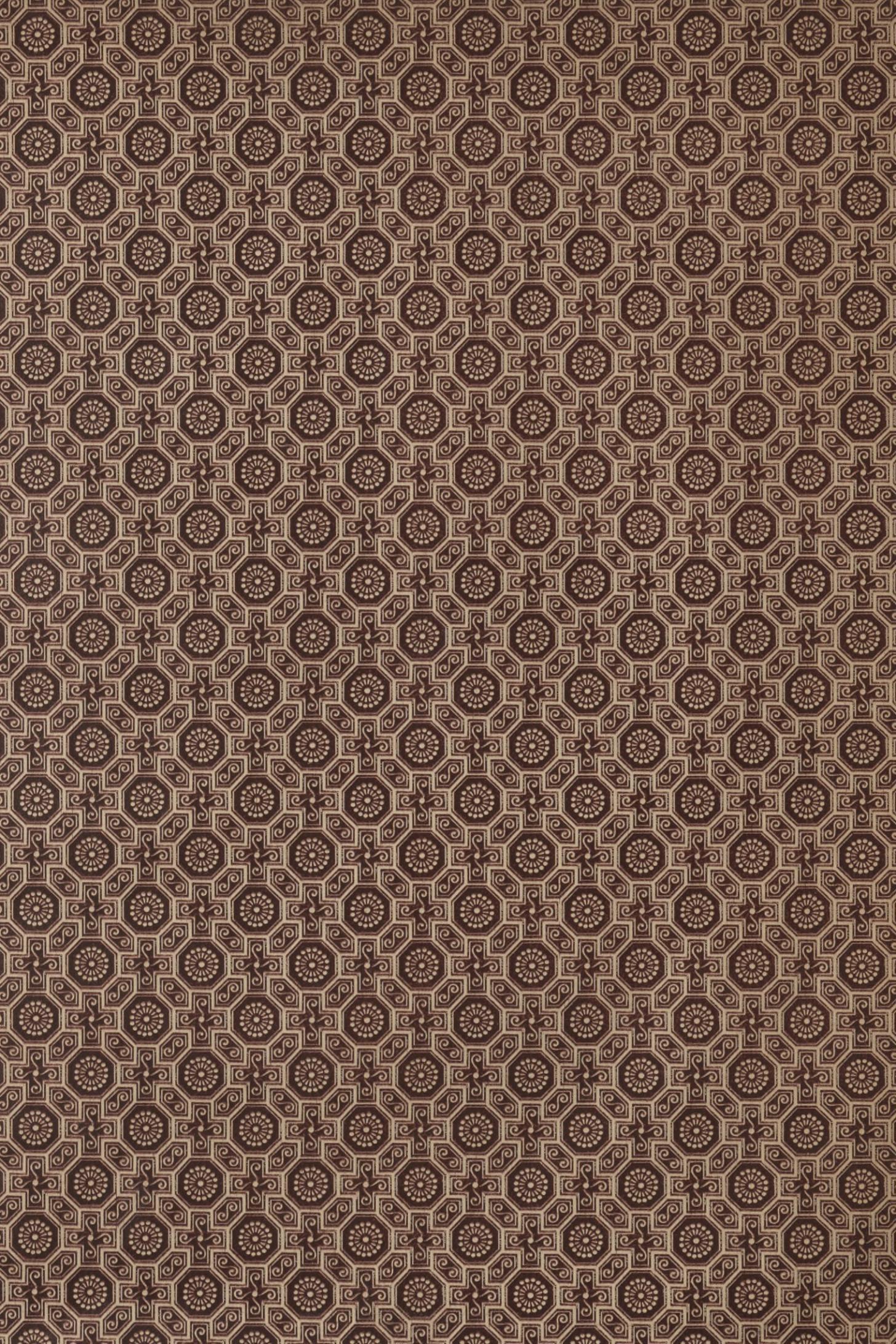
—
1899



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300943



3^e C.B. 1147/99.

RAPPORT

**Présenté au Conseil d'Administration de la Compagnie
par le Comité Technique
constitué en vertu de l'article 31 des Statuts**

COMPAGNIE NOUVELLE
DU
CANAL DE PANAMA

SOCIÉTÉ ANONYME

Au capital de soixante-cinq millions de francs

Siège social : 7, Rue Louis-le-Grand, PARIS

RAPPORT

présenté par *Raderi*
Présenté au Conseil d'Administration par le Comité Technique
constitué en vertu de l'article 31 des Statuts

F. Nr. 22700



PARIS

SOCIÉTÉ ANONYME DE PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

13, QUAI VOLTAIRE, 13

1899



III 18349



TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Constitution du Comité Technique.	7
Avant-propos.	9

CHAPITRE PREMIER

Discussion des solutions possibles et justification de la solution adoptée

Questions principales à résoudre.	11
Obstacle principal pour la création d'un canal à niveau.	12
Coup d'œil rapide sur les projets de l'ancienne Compagnie.	13
Projet de la Commission d'Etudes de 1890.	14
Objections principales auxquelles donne lieu ce projet.	17

Projets de la Compagnie Nouvelle

Tactique adoptée par la Compagnie Nouvelle.	20
Principes appliqués dans les études diverses de projets.	21
Profondeur possible pour la tranchée centrale.	22
Modes d'alimentation du canal.	23
Alimentation directe par le Chagres.	24
Alimentation par une dérivation du Chagres.	25
Aménagement des crues du Chagres.	27

Projets divers étudiés

Principes généraux.	31
Deux types de solutions.	32
Solution du premier type.	32
Solutions du deuxième type.	35
Solutions retenues pour le choix à faire.	36
Justification de la décision prise sur la solution à adopter.	37

CHAPITRE II

Exposé technique du projet du canal à écluses avec plafond du bief
de partage à la cote 20,75

	Pages.
ARTICLE 1 ^{er} . — Tracé en plan.	41
— 2. — Profil en long.	41
— 3. — Profils en travers types, largeurs et surfaces des biefs	43
— 4. — Dispositions générales adoptées pour les écluses.	45
— 5. — Bassins de débouquement aux extrémités du Canal.	46
— 6. — Terrassements généraux du canal.	47
— 7. — Ouvrages d'art	50
— 7. — Écluses.	51
— 7. — Barrages et déversoirs.	54
— 8. — Mode d'alimentation du canal et ouvrages qu'il comporte.	58
— 8. — Rigole d'alimentation.	60
— 8. — Conditions techniques spéciales.	62
— 8. — Terrassements et profils de la rigole.	63
— 8. — Dignes et barrages en maçonnerie. Levées et digues en terre.	64
— 8. — Ouvrages d'art divers.	64
— 8. — Souterrains.	65
— 8. — Voies d'accès aux chantiers.	66
— 9. — Chemin de fer du Haut Chagres.	67
— 10. — Dispositions adoptées pour l'aménagement des crues du Chagres. Dérivations. — 10. — Elargissements	68
— 11. — Déviation du Panama-Rail-Road.	70
— 12. — Dépenses générales	70

PLANCHES

- PLANCHE N^o 1. — Plan général du Canal au $\frac{1}{100,000}$.
- 2. — Profil en long du Canal au $\frac{1}{100,000}$ et profils en travers types.
 - 3. — Profil en long géologique du Canal.
 - 4. — Ecluses d'Obispo.
 - 5. — Ecluse de Paraiso.
 - 6. — Barrages et déversoirs de Bohio. — Barrage d'Alhajuela.

COMITÉ TECHNIQUE

constitué en exécution de l'Article 31 des Statuts :

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

(*) Le Comité a eu à déplorer la perte de M. Sosa qui a trouvé la mort dans la catastrophe de la « Bourgogne » et de M. Bouvier, décédé le 8 septembre 1898.

RAPPORT

Présenté au Conseil d'Administration

par le Comité technique.

AVANT-PROPOS

Le Comité a tenu du 3 février 1896 au 8 septembre 1898, 97 séances officielles ainsi que de nombreuses réunions officieuses. Il a suivi, pour ainsi dire, jour par jour, les études, les travaux et les projets de la Compagnie.

Plusieurs membres du Comité se sont rendus dans l'Isthme au printemps de l'année 1898. — Ils ont rapporté de leur voyage des données et des renseignements précieux qui ont confirmé de tous points les conclusions que le Comité avait déjà tirées de ses études à Paris.

Il est ainsi arrivé à fixer d'une manière précise les bases et les dispositions techniques d'un projet de canal à écluses dont la réalisation paraît devoir satisfaire pleinement aux intérêts de la grande navigation maritime entre les deux Océans et se présenter, sous le rapport de la dépense aussi bien que du temps nécessaire à son exécution, dans des conditions tout à fait pratiques. L'exposé détaillé de ce projet sera fourni plus loin ; mais il paraît intéressant et nécessaire

tout d'abord de présenter ce qu'on peut appeler la genèse des idées qui, par une évolution progressive à laquelle ont concouru les enseignements à retenir du passé en même temps que les déductions à tirer des constatations recueillies dans le présent, ont abouti à la conception que le Comité Technique considère comme la plus logique et la plus satisfaisante. Ce sera l'objet d'un premier chapitre, dont le but est de mettre en relief les aspects variés d'une question extrêmement complexe et de justifier la solution à laquelle on a jugé devoir s'arrêter.

CHAPITRE PREMIER

Discussion des solutions possibles et justification de la solution adoptée.

QUESTIONS PRINCIPALES A RÉSOUDRE

L'exécution d'un canal maritime à travers l'Isthme de Panama, pour relier les deux Océans qui baignent le continent américain, se heurte, au point de vue technique, à deux difficultés principales : c'est, d'une part, la chaîne des Cordillères qu'il faut couper par une tranchée qui doit atteindre 110 mètres environ de profondeur s'il s'agit d'un canal à niveau, et une profondeur encore très grande, qui ne pourrait guère être inférieure à 70 mètres, s'il s'agit d'un canal à écluses ; c'est, d'autre part, le Chagres, cours d'eau torrentiel sujet à des crues violentes, dont le canal doit nécessairement, sur une grande partie de son parcours, emprunter la vallée, et contre lequel il faut prémunir les ouvrages et assurer la sécurité de la navigation par un système efficace d'aménagement de ses eaux. Une troisième difficulté d'ordre général se présente quand on envisage un canal à écluses : c'est l'alimentation même du canal qui prend, en raison de l'ampleur des besoins divers auxquels il faut faire face, une importance telle que le débit cumulé du Chagres lui-même et des cours d'eau qui se rencontrent sur la route du canal devient insuffisant pendant une certaine partie de l'année.

Les deux premières difficultés croissent à mesure que l'on suppose de plus en plus abaissé le niveau du canal et acquièrent leur maximum d'intensité quand

il s'agit du canal à niveau. La troisième, au contraire, qui se rencontre seulement pour un canal à écluses, est d'autant plus ardue que le niveau culminant du canal sera plus élevé. La première question, celle qui se rattache à l'excavation de la grande tranchée du faite séparatif des deux Océans, ne soulève pas de problème technique spécial : c'est un travail matériel, qui peut être plus ou moins long et coûteux, mais qui, sauf le cas d'impossibilité *à priori*, qui, en fait, et étant donné la nature des terrains, ne se présente pas, ne donne prise à aucune conception théorique spéciale ; c'est un problème pratique de grands terrassements à exécuter dans un délai relativement court et sur un espace très limité.

OBSTACLE PRINCIPAL POUR LA CRÉATION D'UN CANAL A NIVEAU

La seconde difficulté, inhérente à la présence du Chagres sur le territoire même que doit emprunter le canal est, d'une manière générale, en raison des conséquences qui en résultent, d'ordre plus grave. Il n'est pas permis de songer à transformer le fleuve, par des rectifications étudiées dans ce but, de façon à utiliser son lit même pour le canal ; irrégularité de ses débits et la violence de ses grandes crues sont incompatibles avec une solution de ce genre. Le détourner complètement de son cours actuel pour le rejeter sur le versant du Pacifique, loin du tracé à suivre par le canal, comme l'idée en a été émise autrefois et en partie étudiée, serait une entreprise colossale, exigeant des travaux dont on ne peut envisager la réalisation : c'est une solution à laquelle il ne semble pas possible de s'arrêter. La nécessité s'impose dès lors de faire du fleuve et du canal deux voisins dont il faut concilier les caractères et les besoins : c'est là un problème dont la solution paraît bien difficile quand il s'agit d'un canal à niveau. De quelque manière, en effet, qu'on l'envisage, on reconnaît qu'il faut toujours, dans ce cas, en arriver à constituer pour le fleuve, latéralement au canal, un lit artificiel capable d'écouler, dans certaines circonstances de crues, un débit très considérable par seconde, alors même qu'on aurait retenu temporairement dans des réservoirs à créer les apports d'une grande partie du bassin versant.

Un lit artificiel créé au-dessus du canal pour assurer un écoulement aussi

important représenterait non seulement une œuvre très difficile à réaliser matériellement, mais un danger, une menace permanente pour le canal lui-même. Aussi peut-on dire que le principal obstacle à la réalisation d'un canal à niveau provient moins des difficultés que comporte l'exécution de la grande tranchée du faite que de celles que soulève la présence du Chagres dans la région qu'il faut traverser avant d'atteindre ce faite ; et il ne serait peut-être pas excessif de soutenir que c'est là un obstacle insurmontable à une conception de ce genre.

COUP D'ŒIL RAPIDE SUR LES PROJETS DE L'ANCIENNE COMPAGNIE

C'est à cette conception cependant que s'était arrêtée l'ancienne Compagnie du canal interocéanique de Panama et elle y a persisté presque jusqu'aux derniers temps de son existence, sous la pression irréductible, il faut le dire, de l'homme qui présidait souverainement à ses destinées. L'on sait jusqu'à quel degré elle avait, dans cet ordre d'idées, conduit son œuvre. La grande tranchée du faite n'avait été, pour ainsi dire qu'ébauchée. Sur les 110 mètres de hauteur totale sur l'axe à déblayer au point culminant du col, 20 seulement ont été enlevés. Quant au problème de l'aménagement du Chagres, l'on peut dire que, si l'ancienne Compagnie en a vu et pesé les difficultés, elle ne leur avait pas donné de solution réelle. Le barrage qu'elle avait projeté à l'emplacement si discuté de Gamboa, pour retenir temporairement une partie des crues du Chagres, n'a jamais été commencé. Quant aux dérivations creusées à l'aval, latéralement au canal, pour écouler ce que le réservoir n'aurait pas retenu, l'on est fondé à dire qu'elles étaient loin de pouvoir répondre à leur objet. En fait, ce grave problème restait encore à résoudre quand la pression inéluctable des événements obligea la Compagnie à changer de point de vue, et à renoncer, provisoirement, croyait-elle, au canal à niveau pour lui substituer un canal à écluses. Aux deux grandes difficultés que soulevait l'exécution du canal à niveau vint alors s'ajouter la troisième concernant l'alimentation du canal à écluses. Les circonstances ne permettaient à la Compagnie, ni les longues réflexions, ni les études variées et laborieuses pour donner, dans les nouvelles conditions où elle se trouvait placée, aux

problèmes spéciaux qui sont indiqués plus haut, les solutions les plus satisfaisantes. Il lui fallait, pour ainsi dire sans délai, improviser et exécuter. Pour ce qui concerne l'excavation de la grande tranchée, la Compagnie prit la mesure qui, dans les circonstances, était évidemment la plus sage, c'était de la réduire au minimum, en plaçant le plus haut possible, dans les limites *à priori* acceptables, le bief de partage; elle adopta pour son plafond la cote (40), ce qui réduisait de 50 mètres la profondeur de tranchée exigée par le canal à niveau. Elle projeta, sur chaque versant, cinq écluses qui devaient être à sas unique de 180 mètres de longueur utile et 18 mètres de largeur, avec chute de 11 mètres. Le problème de l'alimentation reçut une solution qu'inspirait sans doute l'idée que le canal à écluses n'était que provisoire: elle devait se faire au moyen de machines, en puisant l'eau dans un réservoir à créer par l'exécution du barrage de Gamboa réduit à des proportions bien inférieures à celles qu'on lui attribuait quand il s'agissait du canal à niveau. Quant au problème de l'aménagement du Chagres, il est vraisemblable que l'étude d'une solution complète en avait été ajournée.

Il serait hors de propos d'exposer ici les critiques auxquelles donnait lieu le projet de canal à écluses dressé par l'ancienne Compagnie, et qui, sous la fatalité des événements, ne reçut qu'un commencement d'exécution. Le rapide exposé qui précède, en ce qui concerne les faits du passé, n'a d'autre objet que de mettre en évidence ce point que les conceptions de l'ancienne Compagnie ne fournissent en aucune façon de solution satisfaisante aux trois questions fondamentales qui se posent à propos de la création d'un canal à écluses à travers l'Isthme de Panama. Le seul enseignement positif qu'on puisse tirer de ce passé malheureux est la démonstration matérielle qu'un canal à niveau, pour relier les deux Océans, est une conception que, de bien longtemps sans doute, l'on ne peut songer à réaliser.

PROJET DE LA COMMISSION D'ÉTUDES DE 1890

L'on sait que l'ancienne Compagnie, ayant été mise en liquidation, le Liquidateur désireux de ne pas laisser tomber en déchéance les droits résultant de la concession et de ne pas perdre ainsi le fruit des efforts considérables déjà

accomplis et des résultats importants obtenus, conçut l'idée de reprendre sur de nouvelles bases l'œuvre interrompue pour essayer de la mener à bonne fin. Il constitua une « Commission d'études », présidée par M. l'Inspecteur Général des Ponts et Chaussées Guillemain, qui reçut mission d'étudier la situation de l'affaire et d'établir, si possible, les bases d'un nouveau projet susceptible de réalisation dans des limites raisonnables de temps et de dépense. Cette Commission, abandonnant *à priori* l'idée d'un canal à niveau, irréalisable en tout état de cause dans les conditions qu'elle avait à envisager, et rejetant le projet de canal à écluses dressé par l'ancienne Compagnie qui lui parut donner prise à des objections capitales, formula le programme d'un projet établi sur des bases toutes différentes, dans lequel les solutions des trois grandes questions que soulève la construction d'un canal à écluses à travers l'Isthme sont étudiées et discutées avec une grande autorité.

La condition primordiale que s'imposa cette Commission fut de chercher une combinaison réalisable dans le délai sur lequel on pouvait encore compter à cette époque avant d'encourir la déchéance, délai qui était d'environ neuf années, sur lesquelles une année serait absorbée pour la remise en train des travaux. La Commission posa en principe que le travail qui exigerait le plus long délai serait toujours l'excavation de la tranchée du massif central de la Culebra et que là se trouvait la mesure du temps de l'exécution totale du canal. La réponse à la première des trois questions qui dominent le problème général se trouvait alors ramenée à celle-ci, plus précise et plus circonscrite : à quelle profondeur peut-on espérer, dans un délai de huit années de travail, descendre la tranchée de la Culebra ? La réponse lui fournissait une limite inférieure au-dessous de laquelle, en tout état de cause, on ne devait pas songer à descendre, et cette limite, dans sa pensée, devait être fixée à l'altitude (25,50). D'autre part, la solution qu'elle jugea la plus satisfaisante pour le problème concernant l'alimentation du canal lui permit de fixer, d'une manière ferme, l'altitude à adopter, pour le bief de partage. Rejetant la solution d'une alimentation mécanique qu'elle considérait comme entachée de trop d'aléas et ne présentant pas une élasticité suffisante pour se prêter aux besoins complexes et variables d'un grand canal maritime, elle repoussa également, *à priori*, l'alimentation par une rigole qu'il eût fallu établir dans la région de la vallée supérieure du Chagres « à peu près inexplorée, disait-elle, et sillonnée par des cours d'eau profondément encaissés ». Il ne lui restait dès lors, comme moyen possible, que l'alimentation directe par le Chagres lui-même, dont le niveau serait, à l'aide d'un barrage à établir en

travers de son cours à l'une des extrémités du bief de partage, relevé jusqu'au niveau même de ce bief. Pour l'emplacement de ce barrage elle rejetait celui de Gamboa qu'avait adopté l'ancienne Compagnie, et qui lui paraissait « un des moins favorables que l'on pût choisir », pour adopter celui de San Pablo au P. K. 38 du canal. Là elle barre la vallée même du Chagres ainsi qu'une dépression secondaire et, en accompagnant le barrage d'une échelle de deux écluses, elle constitue une fermeture complète, déterminant un vaste lac dans lequel se trouve incorporé son bief de partage terminé du côté du Pacifique à Paraiso (P. K. 57 du canal) par une échelle de deux écluses et un barrage connexe fermant la vallée du Rio-Grande. L'emplacement qu'elle assigne au grand barrage de San Pablo ne lui paraît pas toutefois exempt de doutes au point de vue de la sécurité qu'il présente : elle ne l'indique qu'avec une certaine réserve et elle estime, en tout cas, qu'il est nécessaire de se montrer prudent dans la hauteur à donner au barrage, hauteur qui est liée directement avec l'altitude du bief de partage, puisque cette altitude sera celle même du lac ainsi créé. Ces considérations de prudence la conduisent finalement à adopter, pour l'altitude du plafond du bief de partage, la limite extrême qu'elle a reconnu pouvoir être atteinte, c'est-à-dire la cote 25,50, si l'on n'envisage que le temps même exigé pour l'excavation.

Ainsi se trouvent étroitement liées et résolues d'ensemble dans le projet de canal à écluses de la « Commission d'études » les deux importantes questions concernant la profondeur de la tranchée centrale et l'alimentation du canal. La troisième question, la plus difficile peut-être, celle de l'aménagement des crues du Chagres, se trouve en même temps, dans l'opinion de la Commission, recevoir en grande partie sa solution. Le lac créé par le barrage de San Pablo devient, en effet, un réservoir régulateur dans lequel les crues du Chagres peuvent s'épanouir en perdant la plus grande partie de leur vitesse et peuvent être, dans une certaine mesure, retenues momentanément, de façon à limiter les écoulements à déverser par les extrémités du bief de partage dans les régions inférieures. Moyennant une montée de 2 mètres dans le lac de San Pablo, la Commission d'études estime pouvoir retenir 60.000.000 de mètres cubes, lors des grandes crues et n'avoir plus à livrer passage dans le bief supérieur qu'à un débit maximum de 1.200 mètres cubes par seconde, dont elle répartit 900 mètres cubes du côté Atlantique et 300 mètres cubes du côté Pacifique. Pour permettre, du côté Atlantique, l'écoulement des 900 mètres cubes par seconde sans dangers pour le canal et pour la navigation, la Commission d'études prévoit,

au-dessous du lac de San Pablo, un second lac qui serait créé par l'exécution, en travers de la vallée du Chagres à Bohio, d'un autre barrage accompagné d'une échelle de deux écluses. Ce lac constituerait le second bief du canal du côté de l'Atlantique. En sortant de ce lac, où il n'est pas prévu d'emmagasinement, les eaux qu'auraient déversées les émissaires de San Pablo s'écouleraient à la mer au gré des distributions qui s'établiraient naturellement, en empruntant simultanément soit les dérivations artificielles créées par l'ancienne Compagnie à droite et à gauche du canal, et qu'il suffirait de compléter dans les conditions où elles étaient prévues, soit le canal lui-même.

OBJECTIONS PRINCIPALES AUXQUELLES DONNE LIEU CE PROJET

Au point de vue technique, le projet de la Commission d'études donne lieu à des objections graves qui seront indiquées plus loin ; mais il a le mérite de mettre en évidence, pour la solution des deux plus importantes questions soulevées par la construction d'un canal à écluses, deux principes qui paraissent tout à fait rationnels. Le premier, concernant la profondeur de la grande tranchée, c'est qu'il n'y a pas lieu de s'exagérer les craintes que peut susciter la considération de la nature des terrains et se maintenir, sous cette impression, à une altitude trop élevée : que l'on peut, au contraire, sans témérité, descendre à une altitude assez basse et fixer, à cet égard, une limite surtout d'après le temps que l'on pourra consacrer à l'excavation. Le second, c'est que la solution du problème de l'aménagement des crues du Chagres doit être cherchée dans la création de réservoirs ou lacs artificiels, en dehors ou sur le parcours même du canal, lacs dans lesquels une partie du débit des crues serait retenu momentanément alors que le reste s'écoulerait sans créer de dangers ni de gênes à la navigation. Ces deux principes vont, en effet, dominer toutes les études postérieures à celle de la Commission d'études en recevant des applications propres à faire tomber les objections auxquelles donnent prise les combinaisons de cette Commission et dont les principales sont les suivantes :

Dans le projet qui vient d'être rapidement analysé, les deux questions de

l'approfondissement de la tranchée et de l'alimentation sont étroitement liées, de telle sorte que ce qui favorise la solution de l'une nuit à l'autre. Il faut, en effet, dans cette combinaison, approfondir le plus possible la tranchée, c'est-à-dire augmenter ses difficultés, pour faciliter le plus possible l'établissement des ouvrages constitutifs du mode d'alimentation adopté, et inversement. C'est la conséquence de l'exclusion, décidée *à priori*, d'un mode d'alimentation basé sur la création d'une prise d'eau dans la vallée supérieure du Chagres et d'une rigole d'alimentation, mode qui se prêterait à une grande élasticité quant à l'altitude du bief de partage : c'est là une première objection grave. Une seconde, qui est plus grave encore, porte sur l'emplacement assigné au barrage qui doit former la clef même de la solution, emplacement sur lequel, d'ailleurs, la Commission a eu le soin de formuler elle-même toutes réserves en indiquant que de nouvelles études étaient, à cet égard, nécessaires, pour s'assurer des conditions réelles que présente le terrain de fondation. Or, ces nouvelles études ont démontré que le sol, sur ce point, est très défavorable à l'exécution d'un barrage un peu important, et qu'aucun emplacement convenable ne se rencontre sur tout le parcours du canal entre le point où le Chagres vient le rencontrer pour la première fois (P. K. 45) et Bohio (P. K. 24). Le système de la Commission devient par ce fait, irréalisable, ou ne serait réalisable qu'en offrant des conditions très contestables de succès et de sécurité, ce qu'elle a elle-même déclaré formellement devoir constituer, *à priori*, un vice rédhibitoire. Ce barrage serait-il d'ailleurs réalisable suivant les données de la Commission d'études, qu'une objection très sérieuse serait encore à faire concernant les conditions d'aménagement des crues du Chagres qui en seraient la conséquence. La réserve de 60 millions de mètres cubes seulement qu'il offrirait pour l'excédent des crues du fleuve par rapport à un débit maximum de 1.200 mètres cubes par seconde à laisser passer librement, est tout à fait insuffisante. Les études approfondies faites sur le régime des grandes crues du Chagres, au moyen de très nombreuses observations, permettent de penser que l'excédent réel à retenir au-dessus d'un débit de 1.200 mètres cubes dans la partie inférieure du fleuve atteindrait jusqu'à 250 millions de mètres cubes : l'on voit alors combien serait insuffisant le réservoir prévu par la Commission d'études. Elle indique, il est vrai, que si ses prévisions se trouvaient déjouées, on en serait quitte pour laisser écouler par les déversoirs du bief de partage du côté Atlantique tout ce qu'on n'aurait pu retenir, sauf à interrompre, au besoin, la navigation. Mais c'est là un simple expédient qui dans les proportions où il pourrait se trouver être applicable, risquerait fort d'être

dommageable aux ouvrages même du canal et de nuire à la navigation. Ces diverses objections constituent, au point de vue technique, des motifs suffisants pour rendre inacceptable le projet de la Commission d'études,

La Commission a prévu une durée d'exécution de 8 années de travail effectif. Il est à remarquer, à ce propos, qu'elle pose, d'une manière générale, en principe, que l'excavation de la tranchée centrale est, en tout état de cause, le travail qui exige le plus long délai et donne la mesure du temps nécessaire pour l'exécution totale du canal. Cette opinion peut être erronée, et l'on est fondé à croire qu'elle l'est en ce qui concerne le projet même de la Commission. L'ensemble des ouvrages d'art réclamés par le canal à écluses peut exiger un délai plus long que l'excavation de la tranchée centrale, si celle-ci est réduite à des proportions relativement restreintes. Dans le cas spécial du projet de la Commission d'études, il est permis de penser que le groupe complexe des ouvrages qui constitueraient la fermeture de la vallée à San Pablo (écluses, barrages, déversoirs, etc.), et que devrait précéder la déviation, au moins partielle, du Panama Rail Road, exigerait un délai supérieur à 8 ans. Ce n'est là, d'ailleurs, qu'une observation secondaire, puisque les bases mêmes du projet ne paraissent pas pouvoir être maintenues.

Il faut néanmoins retenir du travail de la Commission les principes mêmes qui lui servent de base, principes tout à fait rationnels, notamment en ce qui concerne le mode d'aménagement des crues du Chagres, et qui, appliqués d'une façon plus large, en s'appuyant sur des données matérielles plus certaines et des études plus complètes, auxquelles la Commission précitée n'avait pu se livrer, fourniront une solution satisfaisante du problème si complexe qui se pose aujourd'hui.

PROJETS DE LA COMPAGNIE NOUVELLE

Le projet de la Commission d'études n'a pas reçu de suite. A la diligence du Liquidateur, le Gouvernement Colombien a prorogé le délai qui était imparti à l'ancienne Compagnie pour l'achèvement du canal. Une nouvelle Compagnie,

absolument indépendante de l'ancienne, a été formée dans le but de rechercher des bases pratiques permettant d'achever l'œuvre du canal au mieux de tous les intérêts à envisager et d'en poursuivre effectivement l'achèvement.

TACTIQUE ADOPTÉE PAR LA COMPAGNIE NOUVELLE

La Compagnie Nouvelle, s'inspirant de l'esprit même de ses statuts, s'était, dès le principe, tracé comme programme et imposé comme règle de conduite l'examen et l'étude de toutes les solutions dont la conception peut, *à priori*, se présenter à l'esprit d'hommes sérieux et pratiques, afin d'être en mesure d'en discuter et comparer, en parfaite connaissance de cause, les avantages et les inconvénients,

Le Comité technique ne pouvait qu'approuver pleinement cette méthode qui, pour être appliquée judicieusement, exige la connaissance complète et exacte de la disposition des lieux et de la constitution des terrains sur lesquels il s'agit d'édifier l'œuvre, en même temps que toutes les circonstances spéciales de milieu, de voies et moyens d'exécution, en un mot, de l'ensemble des données concernant tous les éléments qui doivent entrer en jeu dans l'étude des projets. La Compagnie Nouvelle s'est également résolue, pour apprécier d'une façon juste l'importance des difficultés matérielles que présente l'opération capitale de l'œuvre, c'est-à-dire l'excavation de la grande tranchée, et dissiper par les faits d'une expérience réelle les incertitudes qui ont jusqu'ici subsisté dans toutes les solutions sur ce point, à creuser effectivement la tranchée dans des proportions telles qu'il ne pût rien rester d'hypothétique sur les conditions que présenterait le travail définitif. Les travaux exécutés dans ce but spécial d'étude expérimentale constituent d'ailleurs une œuvre utile en fait, puisqu'en tout état de cause ils doivent faire partie intégrante de la tranchée définitive. L'accomplissement de ce programme préliminaire, comportait nécessairement un délai de plusieurs années. Mais le temps ainsi consacré à des études et à des expériences

est loin de représenter un temps perdu pour l'exécution même. C'est un principe en matière de grands travaux que plus les études en ont été longues et soignées, plus l'exécution est sûre et peut se mener rapidement. On peut ajouter avec autant de justesse que l'exécution de grands travaux entreprise trop hâtivement, sans avoir été précédée d'études suffisantes pour permettre d'arrêter d'une manière ferme ce que l'on veut et ce que l'on peut faire, conduit à de graves mécomptes et à des retards, quand elle n'aboutit pas à un désastre comme ce fut le cas pour l'ancienne Compagnie. Il est même permis d'affirmer que l'insuccès et la chute de cette Compagnie ont eu pour cause initiale et principale, l'absence d'études préliminaires indispensables.

PRINCIPES APPLIQUÉS DANS LES ÉTUDES DIVERSES DE PROJETS

A mesure que les études sur le terrain se sont complétées, que les constatations matérielles fournies par les travaux d'excavation poursuivis dans la Culebra se sont développés et ont permis de préciser la nature des terrains constituant le massif, les conditions qu'ils devaient présenter, au point de vue de leur stabilité, et les difficultés mêmes de leur extraction à des profondeurs progressives, les services techniques de la Compagnie ont, avec l'assistance constante du Comité technique, élaboré plusieurs projets de canal à écluses basés sur des altitudes diverses assignées au plafond du bief de partage. On a été conduit ainsi à mettre successivement à l'étude une assez grande variété de combinaisons. Toutefois le Comité technique a considéré comme des principes dont on ne devait pas se départir dans les études entreprises et qui devaient en restreindre le champ : 1° Qu'il faut écarter *à priori* toute solution qui ne présente pas, par elle-même, abstraction faite des considérations de temps et de dépenses nécessaires, toute garantie de succès certain ; 2° Que dans les solutions des problèmes techniques de détail que suscite une œuvre aussi importante et complexe, il faut s'attacher exclusivement à celles qui comportent des applications déjà éprouvées et sanctionnées par l'expérience, en écartant les innovations pouvant conduire à des mécomptes ; 3° Qu'il est essentiel, dans la recherche des solutions

à adopter, de tenir compte du milieu spécial dans lequel il s'agit de les appliquer et de l'influence du climat qui le caractérise, influence qui se traduit soit par la qualité médiocre de la main-d'œuvre qu'il faut subir, soit par la diminution d'activité du personnel qui doit la diriger. De là découle la nécessité de ne concevoir que des travaux d'un genre simple n'exigeant pas, dans les moyens d'exécution, des conditions exceptionnelles.

On retrouve dans tous les projets, comme problèmes principaux à résoudre, les trois questions fondamentales qui se sont posées dans les études antérieures à celles de la Compagnie Nouvelle : profondeur possible pour la tranchée centrale, mode d'alimentation du canal, mode d'aménagement des crues du Chagres.

PROFONDEUR POSSIBLE POUR LA TRANCHÉE CENTRALE

La question de profondeur possible pour la tranchée centrale et spécialement pour la partie du massif principal formé par la Culebra est liée à deux éléments : 1° La nature constitutive des terrains à traverser, d'où résultent les conditions de stabilité que présenterait une tranchée plus ou moins profonde ; 2° Les difficultés matérielles de l'excavation, d'où résultent le temps et la dépense qu'elle exigera. Tout d'abord, la Compagnie, sous l'influence des appréhensions qui s'étaient perpétuées en ce qui concerne les dangers d'instabilité des terrains à traverser et des doutes qu'il semblait difficile de dissiper sur ce point, avait pensé, en vertu même des principes de prudence qu'elle s'était imposés comme règle de conduite, qu'il fallait réduire la profondeur de la tranchée au minimum qui serait compatible avec la réalisation d'un canal offrant pour la navigation des facilités suffisantes. Un projet initial dressé dans cet ordre d'idées fixait le plafond du bief de partage à la cote (34) ; il comportait sur chaque versant cinq écluses de 10 mètres de chute maxima. Mais l'expérience même des travaux de déblaiement poursuivis dans la tranchée est venue montrer que les chances d'instabilité se trouvent restreintes aux couches supérieures qu'il fallait toujours traverser, quelque projet qu'on adopte, craintes qui, en raison même des travaux exécutés, ne subsistent plus aujourd'hui. L'ouverture en grand de

la tranchée d'épreuve, qu'on a qualifiée de « cunette préparatoire », et l'exécution de puits de sondages à ciel ouvert multipliés qui la complètent, en descendant au-dessous de la tranchée ouverte jusqu'à des profondeurs qui atteignent pour quelques-uns la cote (10), ont donné la confiance que les terrains situés au-dessous des couches argileuses de la partie supérieure présentent toute garantie de stabilité même sous des talus raides, jusqu'aux plus grandes profondeurs qu'il puisse y avoir lieu d'envisager. Le Comité technique, dont plusieurs membres sont allés dans l'Isthme pour examiner les choses *de visu*, a acquis ainsi la conviction que la nature constitutive des terrains ne forme pas un élément de limitation quant à la question de profondeur à attribuer à la tranchée centrale et que cette question devra se résoudre par des considérations tirées du délai et de la dépense nécessaires pour atteindre telle ou telle profondeur. Il est donc arrivé, sur la foi de l'expérience entreprise, à poser ce principe que la tranchée centrale envisagée en elle-même et uniquement d'après les conditions qu'offrent les terrains à traverser, peut être descendue aussi bas que l'on voudra, dans les limites qu'imposeront nécessairement les considérations découlant des solutions admissibles pour les autres questions en même temps que celles résultant du délai d'exécution que l'on devra raisonnablement s'imposer.

MODES D'ALIMENTATION DU CANAL

La question du mode d'alimentation à adopter pour le canal est une de celles qui ont donné lieu aux études les plus variées et les plus complètes. Le Comité technique a pensé qu'on ne pouvait accepter le principe de l'alimentation mécanique à titre de solution définitive. Quelques précautions que l'on prit, une solution de ce genre, indépendamment des dépenses permanentes considérables qu'elle imposerait à l'exploitation, comporterait en elle-même des chances de précarité que ne peut admettre la navigation pour un canal d'une telle importance. Il ne restait dès lors que deux solutions possibles: ou bien l'alimentation directe par le Chagres transformé, sur une partie de son cours, en un lac qui formerait le bief de partage lui-même — c'est l'idée qu'avait adoptée la Commission

d'études de 1890 — ou bien l'alimentation par une dérivation du Chagres prenant son origine dans la vallée supérieure en un point où serait constituée, par l'exécution d'un barrage, une retenue à une hauteur convenable pour amener les eaux dérivées à l'altitude du bief de partage.

Alimentation directe par le Chagres.

En ce qui concerne le premier de ces moyens, il a été reconnu par les résultats des études et des constatations faites sur place que la solution même indiquée par la Commission d'études était inapplicable, que sur toute la vallée inférieure du Chagres, c'est-à-dire sur la partie de son cours qui s'étend depuis Gamboa jusqu'à la mer, un seul emplacement présente des conditions relativement favorables pour l'édification d'un barrage important, susceptible de déterminer un lac central qui deviendrait le bief de partage. Cet emplacement est celui de Bohio Soldado au point kilom. 24 du canal, où la Commission d'études avait d'ailleurs elle-même prévu également un barrage pour former un lac secondaire qui devait constituer le second bief de son projet. La nature du terrain que l'on rencontre sur ce point dans le thalweg du Chagres se prête à la construction d'un barrage en terre d'une certaine hauteur. Mais, après avoir procédé à une étude approfondie de la constitution géologique du sous-sol, que de nombreux sondages ont permis de caractériser nettement, le Comité technique a jugé unanimement qu'il ne serait pas prudent d'élever sur cet emplacement un barrage formant une retenue sensiblement supérieure à 20 mètres au-dessus du lit du fleuve, qui, sur ce point, est à peu près à la cote zéro par rapport au niveau moyen de la mer. Etant donnée l'importance de cet ouvrage au point de vue de l'existence même du canal, il a été reconnu que là, plus encore que partout ailleurs, l'on devait rester dans les limites d'une grande prudence et, en conséquence, on a fixé à la cote maxima d'environ 20 mètres le niveau supérieur du lac à constituer par l'exécution du barrage de Bohio. Dans ces conditions, si l'on veut réaliser l'alimentation directe par le Chagres lui-même, en utilisant le lac central créé ainsi qu'il vient d'être dit comme bief de partage, il faut fixer l'altitude

maxima du plan d'eau de ce bief à la cote (20) environ. Il s'ensuit qu'avec un tirant d'eau de 9 mètres à réserver au plus bas niveau possible du lac, et en tenant compte d'une certaine oscillation à prévoir dans son niveau par suite de la variabilité des apports auxquels il devra faire face, l'on doit fixer le plafond du bief de partage, dont la grande tranchée fera partie, à une altitude voisine de la cote (10). Telle est la conséquence à laquelle on est amené dans le système de l'alimentation directe par le Chagres si l'on ne veut pas s'écarter, dans la détermination des proportions à donner à l'ouvrage fondamental de cette solution, des règles de prudence que le Comité considère comme s'imposant absolument. La profondeur considérable qui en résulterait pour la tranchée centrale ne paraît pas incompatible avec les conditions de stabilité sur lesquelles on est en droit de compter d'après la connaissance que l'on a maintenant des terrains à traverser; mais il paraît peu vraisemblable aujourd'hui qu'on puisse arriver à la réaliser dans les limites du délai qu'on sera conduit à s'imposer.

Alimentation par une dérivation du Chagres.

A défaut de l'alimentation directe réalisée comme il vient d'être dit, on ne peut plus envisager que l'alimentation au moyen d'une retenue à constituer par un barrage dans la vallée supérieure et d'une dérivation mettant cette retenue en communication avec le bief de partage. A ce sujet deux genres de solutions ont été examinés avec soin, en s'appuyant sur les résultats fournis par les études entreprises dans toute la région intéressée de la vallée supérieure du Chagres, résultats contrôlés en outre par l'examen spécial des lieux qui a été fait par plusieurs membres du Comité technique. Dans l'un, la solution aurait pour base l'exécution d'un barrage à Gamboa, au voisinage même du bief de partage, pour constituer la retenue destinée à l'alimenter. L'on sait que l'ancienne Compagnie, tout en projetant jusqu'à la fin la construction d'un barrage sur ce point, ne s'était arrêtée à cette idée qu'avec beaucoup d'hésitations et que la Commission d'études de 1890 l'a formellement repoussée, en déclarant que c'était là « un des emplacements les plus impropres que l'on pût choisir ».

La Compagnie Nouvelle a tenu, cependant, en raison des avantages que présenterait pour l'alimentation du bief de partage un barrage à Gamboa, à étudier cette question sur des bases matérielles tout à fait certaines. Un relevé complet et très exact des lieux a été fait; des sondages multipliés ont été pratiqués à l'emplacement éventuel du barrage pour déterminer la nature du sol superposé au rocher et les profondeurs exactes de celui-ci ainsi que sa nature. En s'appuyant sur ces données, des projets divers de barrages ont été dressés dans les conditions paraissant les plus convenables, au point de vue pratique, pour en assurer l'exécution. A la suite de discussions répétées et d'un examen approfondi des procédés de construction qui lui ont été soumis, le Comité n'a pas jugé qu'on pût espérer rencontrer dans l'exécution de cet ouvrage des chances assurées de succès et pour son existence à venir les conditions absolues de sécurité sur lesquelles il est essentiel de pouvoir compter. D'autres inconvénients graves lui ont paru également devoir résulter d'une retenue de cette importance dans le voisinage immédiat du canal. En conséquence, dans sa séance du 6 septembre 1898, il a jugé qu'il y avait lieu d'écarter définitivement toute solution basée sur la construction d'un barrage à Gamboa. Mais, contrairement à l'opinion émise par la Commission d'études de 1890, qui ne disposait d'aucune donnée pour éclairer sur ce point sa religion, et qui par le motif qu'on se trouvait « en face d'une région jusque-là inexplorée », repoussait, *à priori*, l'idée d'un barrage à construire dans le Haut-Chagres en amont de Gamboa et d'une rigole d'alimentation entre ce barrage et le bief de partage, le Comité technique a estimé que c'est là une solution réalisable dans des conditions satisfaisantes.

Il s'est appuyé, pour juger ainsi, sur les études très complètes entreprises dans toute la région en cause et qui ont permis d'en acquérir la connaissance exacte. On a pu reconnaître ainsi qu'il existe, au lieu connu sous le nom d'Alhajuela, un emplacement très favorable pour l'exécution d'un barrage en maçonnerie de grande hauteur qui serait fondé sur un sol rocheux compact. On a reconnu aussi, d'après les plans détaillés levés sur place et par la visite des lieux qu'en ont faite plusieurs membres du Comité, que les difficultés d'exécution d'une rigole alimentaire entre ce barrage et le bief de partage n'étaient pas de nature à faire considérer cette solution comme inacceptable. Par l'exécution d'un chemin de fer qui se reliait au Panama Rail Road et qui traverserait toute la région jusqu'à Alhajuela, en côtoyant d'assez près le tracé éventuel de la rigole, on rendrait toute la région des travaux aussi accessible que les parties de l'Isthme traversées aujourd'hui par le canal lui-même. Dans ces conditions,

la solution de l'alimentation du canal, basée sur la construction d'un barrage de retenue dans le Haut-Chagres et d'une rigole alimentaire, a paru au Comité pratiquement réalisable; il a donc jugé qu'il serait rationnel d'exécuter un canal à écluses dont la conception fondamentale aurait pour base une telle solution en ce qui concerne le problème de son alimentation. Cette solution a l'avantage de permettre de fixer entre des limites assez étendues, et à une cote relativement élevée, l'altitude du bief de partage qui sera, en tous cas, bien supérieure à celle qu'imposerait nécessairement le mode d'alimentation directe par le Chagres lui-même.

AMÉNAGEMENT DES CRUES DU CHAGRES

La question de l'aménagement des crues du Chagres qui constitue le troisième terme fondamental du problème général de la création d'un canal à écluses a été étudiée d'une façon approfondie. Les observations sérieuses et suivies, faites à cet égard, n'embrassent pas, il est vrai, une période telle qu'on puisse affirmer qu'elles ont compris les cas les plus extrêmes. Elles remontent cependant aux premières années de l'existence de l'ancienne Compagnie, et l'on a pu, en étudiant avec soin les nombreuses données recueillies par elle et conservées dans les archives remises à la Compagnie Nouvelle, puis rapprochant de ces données quelques observations faites lors de la crue de 1879, qui d'après les souvenirs de quelques témoins, les traces qu'elle a laissées et les dommages qu'elle a causés semble être la plus forte qui se soit produite de mémoire d'homme — c'est du moins, d'une façon certaine, la plus forte qui se soit produite depuis la construction du chemin de fer de Colon à Panama, c'est-à-dire depuis 1850 — l'on a pu se faire une idée très vraisemblable des conditions extrêmes auxquelles devait satisfaire la solution du problème d'aménagement des crues du Chagres. Cette question a été, à diverses reprises, discutée dans les séances du Comité technique et a fait l'objet de la part d'un de ses membres d'une étude très circonstanciée qui se trouve exposée dans la note annexée au procès-verbal de la soixante-troisième séance. Les données fournies par cette étude, en ce qui concerne l'in-

tensité et la durée des flots maxima des plus grandes crues, aux divers points du fleuve qui présentent un intérêt dans la question, ont paru être assez largement appréciées pour qu'en basant sur ces données la solution du problème, on puisse avoir la conviction de l'avoir établie de façon à satisfaire aux cas les plus défavorables. Néanmoins, les dispositions adoptées sont telles que, dans l'hypothèse où les prévisions admises quant aux débits de la plus forte crue connue depuis cinquante ans, viendraient à être fortement dépassées, rien ne serait compromis; les seules conséquences qui pourraient en résulter seraient une gêne pour la navigation dans le bief de Bohio et la nécessité, peut-être, dans des circonstances tout à fait exceptionnelles, de la suspendre momentanément.

Le principe suivi par la Compagnie Nouvelle et que le Comité technique a complètement approuvé est celui qu'avait, d'une manière générale, préconisé la Commission d'études de 1890, c'est-à-dire la création de lacs dans lesquels les crues du Chagres s'amortiront en s'épanouissant sur de vastes étendues et où l'on retiendra momentanément, au moment de la montée, leurs excédents par rapport à ce qu'il est possible, sans dangers, de laisser couler librement dans le domaine du canal. Tel est le principe pris comme base de part et d'autre : mais les combinaisons adoptées dans les projets actuels sont susceptibles d'une efficacité beaucoup plus grande que celles de la Commission d'études. Celle-ci n'avait, en réalité, prévu qu'un lac comme régulateur des crues, celui de San Pablo, formant en même temps bief de partage et constitué par un barrage à établir au P. K. 38 du canal. Ce lac, évalué à 3.000 hectares, devait pouvoir emmagasiner sous une tranche de 2 mètres un volume de 60 millions de mètres cubes à retenir sur le débit maximum des crues. Ainsi qu'il a été dit précédemment, les appréciations auxquelles les nouvelles études ont conduit établissent que le volume réel à retenir dans les plus grandes crues, tout en livrant passage libre à un débit de 1.200 mètres cubes par seconde, comme l'avait fait la Commission de 1890, pourra atteindre 250 millions de mètres cubes ; le lac prévu par la Commission d'études serait donc bien insuffisant. Il a été démontré d'ailleurs que le barrage de San Pablo n'était pas possible. Les études sur les conditions à satisfaire en vue de coordonner l'aménagement des crues du Chagres avec les exigences de l'alimentation du canal, ont démontré la nécessité de constituer deux vastes réservoirs ou lacs artificiels. Le premier, embrassant la région centrale du canal dont l'un des biefs s'y trouverait incorporé, serait constitué par l'exécution du barrage de Bohio (P. K. 24.) déterminant une retenue pouvant atteindre au maximum la cote (20) environ : ce lac aurait, à cette cote, une superficie

supérieure à 5.500 hectares et pourrait, sous une tranche d'eau de 3 mètres, entre les cotes (17) et (20), contenir une réserve d'environ 150 millions de mètres cubes. Cette réserve serait réduite à 100 millions de mètres cubes environ sous une tranche de 1 mètre 75 seulement. Le second lac serait constitué dans la vallée supérieure du Chagres, par le barrage à établir sur l'emplacement d'Alhajuela et qui, dans le système d'alimentation par rigole alimentaire, formerait le barrage de retenue pour la prise d'eau. Avec la hauteur qu'on a été conduit à donner à ce barrage, on déterminerait, en amont de l'ouvrage, un lac qui, à la hauteur moyenne à laquelle se ferait la réserve d'emmagasinement des crues, aurait une superficie d'environ 2.600 hectares et permettrait de retenir, sous une tranche de 4 mètres de hauteur environ, 100 millions de mètres cubes, complétant ainsi, avec la réserve assurée dans le lac de Bohio, les 250 millions de mètres cubes d'emmagasinement à prélever sur les plus fortes crues.

Dans le cas où la grande tranchée de faite pourrait être descendue jusqu'à une profondeur suffisante pour confondre le bief de partage avec le lac de Bohio, ce qui exige, on l'a vu, qu'elle atteigne la cote (10), le barrage d'Alhajuela n'en devrait pas moins être construit. Son but exclusif alors, serait de constituer un vaste réservoir dans lequel seraient concentrées, d'une part les réserves nécessaires pour l'alimentation et l'exploitation du canal dans les périodes d'insuffisance du débit naturel du Chagres, d'autre part une partie de l'excédent des crues à retenir, de façon à limiter sous ce rapport au strict nécessaire la fonction du lac de Bohio et à éviter de trop grandes fluctuations dans ses niveaux. Dans ce cas, la réserve maxima qui serait attribuée au lac de Bohio, dans le volume total à retenir sur les crues, serait réduite à 100 millions de mètres cubes et celle attribuée au lac d'Alhajuela serait portée à 150 millions de mètres cubes. Le barrage ne serait pas modifié, comme hauteur, mais le point de départ des emmagasinevements serait abaissé, ce qui devient possible puisqu'il n'y aurait plus de rigole alimentaire à desservir.

Les considérations techniques sur lesquelles sont basées les solutions générales qui viennent d'être indiquées se résument ainsi : la plus forte crue connue peut être considérée comme ayant fourni à Bohio, au moment de son maximum, un débit de 3.000 mètres cubes environ par seconde. L'on admet que l'on peut laisser passer sans inconvénient par les émissaires des déversoirs qui seront établis à Bohio, du côté gauche et du côté droit du canal, un débit total de 4.200 mètres cubes par seconde. Les évaluations que l'on peut faire sur le régime de la crue envisagée permettent d'apprécier que la période pendant laquelle le débit

a été supérieur à 1.200 mètres cubes est de 48 heures environ et que le débit moyen, pendant cette période, a été de 2.600 mètres cubes par seconde. Le volume à retenir serait donc de 1.400 mètres cubes par seconde pendant 48 heures, soit 242 millions de mètres cubes et, en forçant, 250 millions de mètres cubes. Une crue de cette violence à Bohio ne peut se produire qu'à la condition que les éléments climatériques qui la déterminent agissent avec intensité partout dans le bassin versant, et l'on peut apprécier, par l'étude rationnelle des données que l'on possède, que, dans ce cas, 52 0/0 de l'apport total de la crue constatée à Bohio proviennent de la partie du bassin situé en amont d'Alhajuela, ce qui donne, pour la période de 48 heures considérée, un apport de 234 millions de mètres cubes provenant de la région supérieure. Il sera donc toujours possible de retenir utilement dans le réservoir d'Alhajuela soit 100, soit 150 millions de mètres cubes suivant celle des solutions indiquées ci-dessus qui sera réalisée. L'aménagement des crues du Chagres est donc bien complètement assuré par les dispositions prévues. Si, contrairement à ce que l'on peut supposer, une crue venait à dépasser encore les proportions qui ont servi de base aux calculs précédents, on aurait comme ressource de laisser s'élever le niveau du lac de Bohio un peu au-dessus de la cote limite qui a été prévue, ce qui augmenterait la réserve qu'il aurait à retenir, et de forcer momentanément au delà de 1.200 mètres cubes par seconde le débit des émissaires du lac. Les dispositions sont prévues de façon que cela puisse se faire sans inconvénient pour le canal.

L'utilité qu'il y a à créer le barrage d'Alhajuela et le lac-réservoir qui en résulte, alors même que, le bief de partage se confondant avec le lac de Bohio, la rigole alimentaire deviendrait sans objet, résulte de deux considérations principales : en premier lieu, la suppression du lac d'Alhajuela obligerait à concentrer dans le lac de Bohio toutes les réserves, ce qui ne pourrait se faire que, soit en augmentant de plusieurs mètres la hauteur du barrage, procédé qui a été unanimement regardé comme téméraire, soit en descendant de plusieurs mètres son altitude minima et par suite le plafond de la tranchée centrale, ce qui, *à priori*, ne paraît pas pouvoir être admis. En second lieu, la suppression de ce lac supérieur, qui forme un premier modérateur des crues du Chagres, laisserait ce fleuve arriver à l'état sauvage dans la partie du domaine du canal représentée par le lac de Bohio, où se rencontrent, sur un parcours de plusieurs kilomètres aux approches du point d'irruption du fleuve, des sinuosités et des rétrécissements naturels à travers lesquels se produiraient certainement, dans l'hypothèse du passage du débit total des crues, des courants pré-

judiciales et dangereux pour la navigation. On aurait, il est vrai, la ressource de la suspendre à ces moments critiques ; mais ce serait là un expédient fâcheux, aléatoire et de nature à jeter un certain discrédit sur la navigabilité du canal ; il est certainement préférable de l'éviter moyennant une dépense supplémentaire qui est relativement faible. Il importe d'ailleurs d'observer que la construction de ce barrage fournira les éléments d'une force motrice considérable, qui trouvera une application avantageuse dans l'exploitation même du canal, et qu'ainsi la dépense qu'il occasionnera sera toujours une dépense amplement productive.

En définitive, la solution que le Comité technique considère comme parfaitement judicieuse et efficace, en ce qui concerne l'aménagement des crues du Chagres, consiste à créer deux lacs : l'un dans la vallée supérieure par l'exécution d'un barrage en maçonnerie (béton de ciment) à Alhajuela, l'autre dans la vallée inférieure, embrassant la région médiane du canal par l'exécution d'un barrage en terre à Bohio. Ce second lac englobera l'un des biefs du canal ; et, suivant que ce bief serait le bief de partage lui-même ou simplement l'un des biefs intermédiaires, l'alimentation du canal se ferait directement par le Chagres lui-même ou indirectement par une dérivation du Chagres formant une rigole d'adduction entre le barrage supérieur et le bief de partage.

PROJETS DIVERS ÉTUDIÉS

PRINCIPES GÉNÉRAUX

Les principes généraux qui doivent servir de base à la solution des trois questions fondamentales qui se posent dans l'étude d'un canal à écluses se trouvent ainsi délimités et fixés ; il reste à voir maintenant de quelles manières diverses on pourrait en faire l'application et quelle est finalement celle qui a paru devoir être adoptée de préférence aux autres. Ce sera l'exposé des diverses combinaisons techniques qu'il a paru utile d'étudier pour la réalisation effective d'un canal à écluses, combinaisons qui seront diversifiées seulement par les solutions

données aux problèmes plus spéciaux et d'ordre plus restreint qui restent à trancher pour des questions que l'on peut, par comparaison avec les précédentes, qualifier de secondaires.

DEUX TYPES DE SOLUTIONS

Les solutions étudiées peuvent se classer en deux types généraux : le premier est celui dans lequel le bief de partage est à un étage supérieur à celui du lac de Bohio (lac central que toutes les solutions doivent nécessairement comporter), et où l'alimentation se fait au moyen d'une rigole ayant son origine au barrage de retenue construit dans le Haut Chagres. Le second est celui dans lequel le bief de partage se confond avec le lac de Bohio et où l'alimentation est assurée par le Chagres lui-même se déversant dans ce lac.

SOLUTIONS DU PREMIER TYPE

Dans le premier type, on pourrait imaginer une foule de combinaisons variant par l'altitude qui serait assignée au bief de partage. On sera limité dans cette recherche par le nombre des écluses que l'on veut admettre sur chaque versant et par la chute maxima que l'on jugera convenable d'attribuer à ces écluses. *A priori*, l'on a considéré que le nombre de cinq écluses sur chaque versant était un maximum qu'il ne fallait pas dépasser. Quant à la hauteur de la chute à adopter, on a jugé qu'il n'y avait aucune valeur à attribuer à l'argument tiré de la nécessité d'utiliser des approvisionnements faits par l'ancienne compagnie en vue d'écluses de 11 mètres de chute. Ces approvisionnements, qui étaient destinés à des écluses de largeur inférieure à celles qui sont aujourd'hui reconnues nécessaires, ne pourraient s'appliquer que très difficilement aux nouvelles conditions. Il n'y a donc rien à retenir de cet argument, et il convient d'examiner la question en elle-même sans la lier au passé. Or, il y a intérêt à diminuer le plus possible la hauteur de chute des écluses. La construction des portes et plus tard leur manœuvre seront d'autant plus faciles qu'elles seront moins hautes ; les chances d'avaries ou de fausses manœuvres diminuent par ce fait même. La consommation d'eau des éclusées est réduite dans la même proportion que

la hauteur de chute, et c'est une considération importante quand on songe que les besoins de l'alimentation sont tels que le Chagres lui-même peut n'y pas suffire pendant une certaine période de l'année et qu'il faudra, pour cette période, constituer des réserves. Enfin, le temps du remplissage et de la vidange des sas augmente avec la hauteur de chute, de même que d'autres opérations secondaires, de sorte que le temps nécessaire pour franchir une écluse croît en même temps que la hauteur de chute et que la capacité commerciale décroît en proportion. Toutes ces considérations ont amené le Comité technique à décider qu'il ne convenait pas de dépasser comme chute des écluses la hauteur de 10 mètres et qu'il était très désirable de l'abaisser même à 9 mètres, si l'approfondissement de la grande tranchée, qui en sera la conséquence, ne devait pas constituer une objection grave. Le premier projet étudié fut dès lors un projet à cinq écluses de 10 mètres de chute ; il en résultait pour le plafond du bief de partage la cote 34, et pour la grande tranchée centrale comprenant les massifs d'Emperador et de Culebra un cube total de déblais d'environ 12.500.000 mètres cubes. L'enseignement fourni par les travaux en cours à la tranchée centrale donna la double conviction qu'on pouvait, sans crainte de dangers résultant de la nature propre des terrains, approfondir la tranchée au-dessous de cette cote et qu'on pourrait certainement le faire dans les délais qu'imposerait nécessairement l'exécution de l'ensemble des ouvrages d'art. Dans sa séance du 20 mai 1897, le Comité technique décidait qu'en tout état de cause on devait fixer au maximum à la cote (30) environ l'altitude qui serait assignée au plafond du bief de partage. Dans ces conditions, il était possible, en conservant cinq écluses sur chaque versant, de ramener leur chute à 9 mètres. Un projet nouveau dans lequel le plafond du bief de partage est placé à la cote (29,50) et son plan d'eau maximum à la cote (40) fut établi sur ces bases. Le cube total des déblais qu'il comporte pour la tranchée centrale est d'environ 15.500.000 mètres cubes.

Concurremment, et comme conséquence de la décision prise de limiter au plus haut à la cote (30) le plafond du bief de partage, on étudia un projet dérivant du projet primitif à 5 écluses de 10 mètres de chute par la suppression d'un échelon d'écluses, et dans lequel le plafond du bief supérieur se trouvait abaissé de la cote (34) à la cote (25). Le déblai total de la tranchée centrale s'y trouve être de 20 millions de mètres cubes. L'étude de ce projet, faite aussi complètement que celle du projet à la cote (29,50), permet de constater qu'il ne procurait pas une économie, mais plutôt une augmentation de dépenses. D'un autre côté, la diminution de 4^m 50 dans l'altitude du bief de partage ne représenterait qu'un bien

faible avantage. Le nombre des écluses de chaque versant était, il est vrai, réduit de 5 à 4 ; mais la hauteur de chute était portée de 9 mètres à 10 mètres, avec toutes les conséquences aggravantes qui ont été indiquées ci-dessus pour l'exploitation et la navigabilité du canal. Ces considérations ont conduit à envisager cette combinaison comme peu rationnelle et ne présentant pas d'avantages réels sur la combinaison à 5 écluses de 9 mètres de chute — projet à la cote (29,50). — D'autre part, elle se rapproche trop, sous le rapport du déblai à faire dans la grande tranchée, du système auquel on est conduit en supprimant purement et simplement un échelon dans ce dernier projet, pour qu'on ne soit pas amené naturellement à lui préférer cette solution manifestement plus avantageuse. Le projet à la cote (25) constitue en définitive un système intermédiaire, on peut dire un système hybride, peu rationnel, entre le projet à 5 écluses de 9 mètres de chute et celui qui en dérive naturellement par la suppression d'un échelon. Le Comité technique a jugé qu'il y avait lieu de l'écarter du nombre des solutions utiles à discuter.

Par contre, les constatations faites dans les travaux actuels de la grande tranchée se trouvant de plus en plus rassurantes et donnant à penser qu'on peut, sans préoccupation quant à la stabilité des terrains, descendre l'excavation bien au-dessous de la cote (30) qui avait déjà été fixée comme un maximum, il fut considéré comme très intéressant et utile d'étudier la combinaison qui dérive directement du système à 5 écluses de 9 mètres de chute par la suppression pure et simple de l'échelon supérieur. On arrive ainsi au système à 4 écluses de 9 mètres de chute, dans lequel le plafond du bief de partage est abaissé à la cote (20,75) et son plan d'eau maximum à la cote (31,25). Cette solution conduit pour la tranchée centrale, à un déblai total d'environ 24.000.000 mètres cubes au lieu de 15.500.000 mètres cubes que comporte la solution à 5 écluses. Quant aux dépenses générales pour l'ensemble des travaux, il se trouve y avoir à peu près équivalence pour les deux systèmes : l'augmentation sur les terrassements dans le second système se trouve sensiblement compensée par l'économie qu'il réalise sur les ouvrages d'art. La seule question dès lors qui puisse se poser dans la comparaison à faire des deux systèmes, abstraction faite de l'avantage évident qu'au point de vue général le second présente sur le premier porte sur le délai qui sera nécessaire pour réaliser l'un ou l'autre. La réponse à cette question fournira l'élément décisif du choix à faire entre les deux. Il y a lieu de remarquer que l'étude du second a été faite de telle façon qu'il coïncide avec le premier dans toutes ses parties, sauf en ce qui concerne les

ouvrages du bief de partage qui se trouvent modifiés par le fait d'un approfondissement supplémentaire de 8 mètres 75, de telle sorte que la plus grande partie des travaux du canal pourrait être exécutée aux fins de l'une comme de l'autre combinaison.

Une autre variante dérivant du même système par la suppression d'un second échelon d'écluses, en réduisant par conséquent le nombre à 3 sur chaque versant, a été étudiée ; mais cette étude ne présente, à vrai dire, qu'un intérêt spéculatif. Elle conduit à un abaissement du bief de partage très voisin de celui auquel on arrive dans les solutions du deuxième type où l'alimentation serait assurée directement par le Chagres et qui lui seraient, dès lors, indubitablement préférables. Il n'y a donc pas lieu de s'arrêter à cette variante.

En définitive, l'on a été conduit à ne retenir parmi les études des solutions rentrant dans le premier type que celle à 5 écluses de 9 mètres de chute comportant pour le plafond du bief de partage la cote (29,50) et celle à 4 écluses de 9 mètres de chute comportant pour le plafond du bief de partage la cote (20,75).

SOLUTIONS DU DEUXIÈME TYPE

Les solutions étudiées suivant le second type, celui où le bief de partage se confond avec le lac de Bohio traversé par le Chagres, se réduisent à deux. Dans l'une, un seul lac, celui de Bohio est créé et doit faire face à toutes les nécessités résultant d'une part de la constitution des réserves pour l'alimentation et les forces motrices, d'autre part de l'aménagement des crues du Chagres. Dans ce système, le plafond du bief de partage étant établi à la cote (10), le niveau maximum de son plan d'eau, qui serait celui du lac, pourrait atteindre dans les grandes crues la cote (24,50) et le barrage de Bohio devrait être élevé jusqu'à la cote (27,50), ce qui ferait un barrage d'environ 30 mètres au-dessus du sol des fondations. Dans l'autre, un premier lac serait créé dans la vallée supérieure du Chagres par le barrage d'Alhajuela ; ce lac aurait pour fonction d'emmagasiner toutes les réserves d'alimentation et d'exploitation, ainsi qu'une grande partie (la plus grande) de l'excédent des crues du Chagres. Dans ce cas, le

plafond du bief de partage restant sensiblement à la même cote que précédemment, le niveau maximum du lac de Bohio ne dépasserait pas la cote (20,50) et le barrage resterait à peu près dans les conditions où il est prévu dans tous les projets du premier type. Cette solution est la seule qui réponde aux conditions voulues d'aménagement des crues du Chagres sans qu'on soit conduit à donner au barrage de Bohio des proportions qui ont été considérées comme téméraires. Pour ce motif principalement, et aussi en raison de l'avantage qu'en tout état de cause présente le barrage d'Alhajuela qui fournira une force hydraulique considérable et permettra une première régularisation du Chagres avant son irruption dans le domaine du canal, il a été jugé convenable d'adopter cette solution de préférence à la première.

SOLUTIONS RETENUES POUR LE CHOIX A FAIRE

En définitive, trois solutions seulement ont été retenues comme pouvant faire l'objet d'une comparaison utile et devant circonscrire le choix à faire. Les deux premières, qui dérivent directement l'une de l'autre, comportent un bief de partage superposé au lac de Bohio et tirant son alimentation d'une retenue à créer dans la vallée supérieure du Chagres par l'intermédiaire d'une rigole. Dans l'une, le plafond du bief supérieur serait à la cote (29,50) et le canal comprendrait 5 écluses sur chaque versant. Dans l'autre le plafond du bief supérieur serait à la cote (20,75) et il n'y aurait plus que 4 écluses sur chaque versant. La troisième solution a son bief de partage confondu avec le lac de Bohio constitué dans les mêmes conditions que pour les deux premières, et l'alimentation se fait directement par le Chagres se déversant dans le bief, après avoir franchi un barrage construit dans le Haut Chagres, principalement dans le but de concourir à l'aménagement des crues et de modérer le fleuve avant son arrivée dans le domaine du canal. Le plafond du bief serait sensiblement à la cote (10).

JUSTIFICATION DE LA DÉCISION PRISE SUR LA SOLUTION A ADOPTER

Les évaluations établies en détail pour chacune de ces solutions font ressortir qu'en ce qui concerne exclusivement les travaux proprement dits elles diffèrent peu l'une de l'autre. Les dépenses totales prévues pour les travaux mêmes, y compris des sommes à valoir assez larges pour imprévus, sont :

Pour le projet à la cote (29,50).....	490.000.000 francs
— — — (20,75).....	512.000.000 —
— — — (10).....	531.000.000 —

L'on sait, d'ailleurs, qu'en ce qui concerne la grande tranchée du faite, la constitution, aujourd'hui bien connue, du sol permet d'adopter l'une ou l'autre cote sans appréhension de dangers sérieux du fait de la stabilité des terrains. Dans ces conditions, le délai d'exécution nécessaire pour réaliser l'une ou l'autre de ces trois solutions devient l'élément décisif du choix à faire entre elles. Cette question a fait l'objet de discussions approfondies au sein du Comité technique, discussions dont le procès-verbal de sa 96^e séance donne le résumé. Il a été reconnu et l'on peut dire, il est constant, *à priori*, qu'il n'est pas possible d'avoir aujourd'hui sur une telle question une réponse qui soit absolument certaine. Trop d'éléments, dont il est impossible de calculer avec certitude la valeur, sont de nature à influencer sur l'activité qui pourra être développée dans l'exécution des travaux pour qu'on puisse prétendre en déterminer par avance la durée exacte. On peut néanmoins, en ce qui concerne spécialement les terrassements, s'en faire une idée approchée par l'examen de ce qui a été réalisé autrefois par l'ancienne Compagnie, et par ce qui se réalise aujourd'hui, en apportant à ces résultats les corrections que la considération des progrès accomplis dans les moyens à employer et de ceux à accomplir dans l'organisation des chantiers rend rationnelles : on peut également s'éclairer utilement de l'exemple des grands travaux similaires exécutés dans les temps récents, en tenant compte de l'influence considérable qui doit résulter de la différence des climats et des conditions de la main-d'œuvre. L'on est arrivé ainsi à formuler, quant à la durée d'exécution des terrassements, des appréciations qui paraissent vraisemblables. Il est à remarquer que, dans cette question, le problème de l'excavation du massif propre de la Culebra prime tout. C'est là incontestablement le travail de

terrassements qui exigera le plus long délai et qui, pour cette catégorie de travaux sur l'ensemble du canal, fournira la mesure du temps nécessaire. Les cubes respectifs à exécuter sur ce point spécial entre P. K. 53,600 et P. K. 55,500 dans les trois projets à comparer sont :

Pour le projet à la cote (29,50) environ.	8.200.000 mètres cubes.
— — (20,75).....	11.200.000 —
— — (10).....	15.600.000 —

Concurremment avec l'exécution des terrassements, devra être poursuivie celle des ouvrages d'art ; et il est rationnel de poser comme principe qu'en appliquant à l'exécution des groupes toute l'activité dont elle sera susceptible avec les moyens d'exécution de chacun et les ressources en main-d'œuvre sur lesquelles on pourra raisonnablement compter, il convient que l'achèvement des deux groupes se produise à peu près dans le même délai, condition qui conduit au minimum de temps pour la durée de l'exécution totale. Cette considération, à tous les points de vue, est capitale et constitue la véritable raison déterminante de la décision à prendre sur le projet qu'il convient d'adopter.

Or, dans l'ensemble des ouvrages, il y a un groupe complexe, dont l'exécution ne pourra s'accomplir que par parties successives, et qui, sans aucun doute, exigera un délai plus long que tous les autres : c'est le groupe des ouvrages constituant la fermeture de la vallée à Bohio (barrages-écluses déversoirs, etc.). L'étude qui a été faite des procédés et de la méthode d'exécution à suivre pour ces ouvrages, étude résumée dans le procès-verbal de la 9^{me} séance du Comité technique, conduit à estimer que le délai total nécessaire pour la réalisation de ce groupe d'ouvrages sera d'environ dix ans. Il n'est pas douteux que dans ce même délai, tous les autres ouvrages, y compris la déviation du Panama Rail Road et la rigole alimentaire, s'il y a lieu, auront pu être exécutés. Finalement le problème du délai d'exécution nécessaire, en ce qui concerne les trois projets comparés, se réduit à mettre en regard d'un côté le groupe des ouvrages de Bohio qui, étant le même que dans les trois projets, demandera le même temps, environ dix ans, pour chacun d'eux, et, de l'autre côté, le massif de la Culebra dont le cube varie considérablement d'un projet à l'autre, puis à apprécier quel est celui pour lequel le déblaiement de ce massif paraît devoir exiger sensiblement le même délai que le groupe des ouvrages de Bohio. Après discussions approfondies sur ce point, le Comité technique a jugé que, dans l'état présent des données expérimentales, c'est le projet à la cote (20,75) qui offre

les plus grandes chances de satisfaire à cette condition fondamentale d'équilibre dans les durées respectives d'exécution ; en conséquence, il a, dans sa séance du 8 septembre 1898 (97^{me} séance), où se trouve formulée la conclusion de ses études, recommandé à la Compagnie l'adoption de ce projet, dont l'exposé détaillé va faire l'objet du chapitre suivant.

L'on voit par cette analyse rapide de toutes les études entreprises et des discussions auxquelles elles ont donné lieu que, sous l'enseignement même des faits qui se sont successivement révélés ou précisés au cours des travaux d'expérimentation que la Compagnie Nouvelle avait résolu de poursuivre avant de prendre un parti décisif, comme aussi grâce aux données qu'ont fournies les études matérielles exécutées dans l'Isthme, en vue de toutes les solutions qu'on pourrait raisonnablement concevoir *à priori*, une évolution progressive s'est faite dans les idées : on inclinait au début vers la conception d'un canal à bief de partage élevé, et on aboutit finalement à celle, beaucoup plus avantageuse, d'un canal à bief très abaissé. Cette évolution, déterminée peu à peu par la constatation de faits matériels, a été la conséquence de la tactique d'expérimentation préalable et pour ainsi dire de recueillement dans l'étude que la Compagnie Nouvelle a cru devoir dès le principe adopter ; elle en est aussi la justification.

CHAPITRE II

Exposé technique du projet de canal à écluses avec plafond du bief de partage à la cote (20,75).

Les questions principales qu'il y a lieu de traiter et qui feront l'objet des divers articles du présent chapitre concernent :

- 1° — Le tracé en plan du canal.
- 2° — Le profil en long déterminant l'étagement des biefs successifs.
- 3° — Les profils en travers adoptés pour les divers biefs. Les largeurs et les surfaces des biefs.
- 4° — Les dispositions générales adoptées pour les écluses.
- 5° — Les ports de débouquement ou bassins de stationnement prévus aux extrémités du canal.
- 6° — Les terrassements généraux du canal.
- 7° — Les ouvrages d'art.
- 8° — Le mode d'alimentation et les ouvrages qu'il comporte.
- 9° — Le chemin de fer du Haut Chagres.
- 10° — Les dispositions adoptées pour l'aménagement des crues du Chagres: les dérivations et les élargissements.
- 11° — La déviation du Panama Rail Road.
- 12° — Les dépenses générales des travaux.

ARTICLE PREMIER.

TRACÉ EN PLAN

Le tracé adopté pour le projet de canal dont il s'agit est exactement celui qui a été suivi par l'ancienne Compagnie pour le projet de canal à niveau et plus tard pour le projet de canal à écluses qu'elle avait commencé à substituer au premier. Ce tracé a été très judicieusement déterminé et il n'y avait aucune raison, au point de vue technique, de le modifier. Il y avait, au contraire, au point de vue de l'économie, grand intérêt à le conserver, pour profiter des travaux utiles déjà exécutés à peu près sur toute sa longueur. Il a été seulement nécessaire d'apporter quelques rectifications, essentiellement locales, pour substituer des alignements droits aux parties curvilignes que présentait le tracé ancien en certains points où sont prévues des écluses dans le projet actuel.

Le tracé comporte partout en pleine voie de grands rayons, dont le minimum est de 3.000 mètres, sauf dans la partie correspondant à la grande tranchée centrale où, en raison de la configuration plus tourmentée du sol, le rayon de quelques courbes descend à 2.500 mètres. Dans certaines parties spéciales formant des bassins d'attente aux abords des écluses, le rayon sur l'axe théorique tombe à 2.500 mètres (écluses de Bohio) et même 1.900 mètres (écluses d'Obispo); mais là le canal a reçu de très grandes largeurs. On donnera d'ailleurs dans les courbes les surélargissements nécessaires en raison de leurs rayons suivant les règles reconnues les meilleures.

La longueur totale du canal, depuis son origine dans l'anse de Folk-River sur l'Atlantique jusqu'au point où il débouche dans la baie de Panama, à la Boca, sur le Pacifique, est de 69 kilomètres. Mais, les grands fonds ne se rencontrant qu'au voisinage de l'île Naos à 5.400 mètres de la Boca, il est nécessaire de creuser un chenal maritime depuis ce point jusqu'à la rencontre des grands fonds permanents, ce qui porte la longueur totale du canal, compris ce chenal, à 74 kilomètres 400.

ARTICLE 2.

PROFIL EN LONG

Le plafond du bief de partage est établi à la cote (20,75) au-dessus du niveau moyen de la mer; le tirant d'eau minimum prévu étant de 9 mètres, il en

résulte pour le niveau minimum du plan d'eau dans le bief de partage l'altitude (29,75). Il est prévu dans ce bief une oscillation possible de 1^m50 dans le plan d'eau, tant pour tenir compte des apports naturels qui s'y feront en dehors de l'alimentation régulière, que des fluctuations inévitables de la consommation qui exigent un certain approvisionnement de réserve. Le niveau maximum du plan d'eau atteindra ainsi la cote (31,25). L'Océan Atlantique à Colon n'a pour ainsi dire pas de marée; c'est donc une hauteur totale de 31^m25 qu'il y a à racheter entre cet océan et le bief de partage. Le projet prévoit à cet effet un seul bief intermédiaire constitué par le lac de Bohio commençant au point kilométrique 24,500 du canal, aux écluses de Bohio, et se terminant au P. K. 46 aux écluses d'Obispo. — Une échelle de deux écluses est prévue à Bohio et une échelle de deux écluses également est prévue à Obispo. Le niveau du bief intermédiaire pourra osciller entre la cote minima (16) et la cote maxima (20). Le plafond du canal, qui formera presque partout dans ce bief un chenal balisé à travers le lac, sera donc établi à 9 mètres au-dessous de la cote (16) soit à la cote (7). Le plafond du bief maritime est à la cote (—9). L'Océan Pacifique donne lieu à des marées oscillant entre les cotes extrêmes (— 3 et + 3) : la hauteur totale à racheter entre la plus basse mer et le niveau maximum du bief de partage est donc de 34^m25 sur ce versant. Le projet prévoit à cet effet deux biefs intermédiaires, l'un compris entre Paraiso, P. K. 57 du canal où se termine l'écluse qui ferme le bief de partage et Pedro-Miguel, P. K. 59, où se trouve une échelle de deux écluses, l'autre compris entre cette échelle d'écluses et Miraflores, P. K. 61.800, où se trouve une écluse. Les plans d'eau dans ces biefs intermédiaires sont susceptibles d'une oscillation pouvant atteindre 1 mètre au-dessus de leurs niveaux minima. Les cotes de plafond sont (13,25) pour le bief contigu au bief de partage, (— 3,75) pour le bief suivant et (— 12) pour le bief maritime.

L'échelle des deux écluses à Bohio doit racheter une dénivellation totale pouvant aller de la cote (0) à la cote (20), ce qui donne lieu à une chute pouvant atteindre 10 mètres par écluse. Mais il est à remarquer, comme on le verra plus loin, que la cote (20) du lac de Bohio, est une cote exceptionnelle qui ne pourra être atteinte que dans le cas des plus fortes crues du Chagres, c'est-à-dire dans de très rares circonstances. On peut considérer que généralement le niveau du lac ne dépassera pas la cote moyenne (18) et qu'au point de vue des conditions normales d'exploitation, les écluses de Bohio sont de 9 mètres de chute. La dénivellation maxima à racheter entre le bief de Bohio et le bief de partage est comprise entre les cotes (16) et (31,25), soit 15^m25 à racheter par deux écluses,

ce qui leur donne 7^m65 de chute maxima. Du côté Pacifique, le bief contigu au bief de partage a son plan d'eau minimum à la cote (22,25), ce qui donne une chute maxima de 9 mètres à l'écluse de Paraiso. Le bief suivant a son plan d'eau minimum à la cote (5,25); le niveau maximum du précédent étant (23,25), c'est une dénivellation maxima de 18 mètres à racheter par deux écluses, soit 9 mètres de chute par écluse. Enfin le plan d'eau du bief maritime oscillant entre (— 3) et (+ 3), l'écluse de Miraflores qui le termine aura à racheter une dénivellation pouvant varier entre 2^m25 et 9^m25.

ARTICLE 3.

PROFILS EN TRAVERS TYPES, LARGEURS ET SURFACES DES BIEFS

Les profils en travers types adoptés pour les différents biefs du canal, et qui ont été définitivement arrêtés par le Comité technique dans sa 93^e séance, sont représentés dans les dessins du dossier du projet.

Les conditions qu'ils présentent se résument ainsi :

Bief maritime Atlantique. — Largeurs au plafond 30 mètres ou 34 mètres, suivant qu'il s'agit de terrain ordinaire ou de terrains rocheux, avec talus inclinés à 3/2 ou à 2/3 pour la cuvette mouillée, banquettes de 3 mètres de largeur à 2^m50 en contrebas du plan d'eau. Deux garages sont prévus sur la longueur de ce bief qui est de 23.880 mètres; ces garages auront 60 mètres de largeur au plafond sur une longueur de 600 mètres, non compris les parties formant raccordement avec la largeur courante.

Bief de Bohio. — Ce bief, formant chenal à travers le lac de Bohio, s'étend du P. K. 24.483 au P. K. 46. Sa largeur au plafond dans les parties courantes est de 50 mètres avec talus à 3/2 dans les terrains ordinaires et de 52 mètres avec talus à 2/3 dans les terrains rocheux.

Bief de partage. — Ce bief s'étend du P. K. 46.603 au P. K. 56.306. Il comprend la grande tranchée à travers le faite séparatif des deux Océans. Le profil-type adopté pour ses parties courantes comporte pour la cuvette mouillée une largeur au plafond de 36 mètres, des talus inclinés à 1/2, et des banquettes de 3 mètres de largeur à 2^m50 au-dessous du plan d'eau minimum. Dans la partie supérieure, le profil comporte des redans de 5 mètres de largeur espacés

verticalement de 10 mètres et reliés par des parois inclinées à $2/3$, sauf dans la couche argileuse du sommet où les talus sont réglés à $3/2$.

Bief entre Paraiso et Pedro-Miguel. — Ce bief, à la suite du bief de partage, s'étend du P. K. 56.643 au P. K. 59.070. On y a adopté le même profil-type que pour le bief maritime Atlantique. La plus grande partie de sa longueur sera d'ailleurs absorbée par les bassins de garage avoisinant les écluses.

Bief entre Pedro-Miguel et Miraflores. — Ce bief, qui s'étend du P. K. 59.373 au P. K. 61,790, a reçu également le même profil-type que le bief maritime Atlantique et sera, comme le précédent, absorbé pour sa plus grande partie par les bassins d'approche des écluses.

Bief maritime Pacifique. — Ce bief, compris entre le P. K. 61.453 et le P. K. 74.400 a été prévu avec une largeur au plafond de 30 mètres et des talus à $5/1$ depuis son origine jusqu'à son débouché dans la baie à la Boca, où sera exécuté un bassin de débouquement. De là jusqu'à l'extrémité, il constitue un chenal maritime qui aura 50 mètres de largeur au plafond avec des talus inclinés à $5/1$.

Dans tous les biefs, aux abords des écluses, en amont et en aval, sont prévus des bassins d'attente et de croisement pour les bateaux ; ces bassins sont projetés généralement avec une largeur de 62 mètres au plafond sur une longueur franche de 700 mètres, la longueur des raccordements avec la section courante étant de 100 mètres. Le bassin précédant du côté Atlantique l'échelle d'écluse d'Obispo, et qui est en courbe d'un rayon théorique de 1.900 mètres, est prévu avec une largeur de 85 mètres au plafond.

Les surfaces respectives des divers biefs intermédiaires au niveau de leur plan d'eau maximum sont les suivantes :

Bief de Bohio formant environ.....	5.500 hectares.
Bief de partage, y compris un petit lac naturel du côté d'Obispo.....	160 hectares.
Bief de Paraiso à Pedro-Miguel.....	16 hectares.
Bief de Pedro-Miguel à Miraflores.....	13 hectares.

La surface de 160 hectares que présente le bief de partage fournit, avec

la revanche d'eau de 1^m50 prévue au-dessus de son niveau minimum, une réserve de consommation de 2.400.000 mètres cubes. Cette réserve peut paraître insuffisante pour faire face largement aux variations de l'alimentation et de la consommation. Il sera donc convenable de l'augmenter par la création d'un petit lac du côté de Paraiso, lac qui serait obtenu en construisant un barrage en travers de la vallée de la Conga et du Mallejon. On obtiendra ainsi une surface supplémentaire de 100 hectares environ, à incorporer au bief de partage, dont la réserve serait alors portée à 3.900.000 mètres cubes ; on pourrait d'ailleurs l'augmenter encore en portant à 2 mètres l'oscillation totale des niveaux du bief.

ARTICLE 4.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES ADOPTÉES POUR LES ÉCLUSES

Les conditions générales auxquelles devront satisfaire les écluses ont fait l'objet de nombreuses discussions, à la suite desquelles ont été adoptées dans la 94^e séance du Comité technique les dispositions suivantes : les écluses seront à deux sas géminés d'une longueur utile de 225 mètres avec des largeurs de 25 mètres pour l'un et 18 mètres pour l'autre. Toutefois, le Comité technique pense comme la Compagnie qu'il y aura vraisemblablement lieu de les porter tous deux à 25 mètres de largeur. L'un des sas (le moins large le cas échéant) sera muni de portes intermédiaires. Il est reconnu d'ailleurs que la construction de l'un des sas pourrait être ajournée jusqu'après l'ouverture à l'exploitation, sans inconvénients graves, si la Compagnie y trouvait au point de vue financier un sérieux intérêt. Le système de portes adopté en principe est celui de portes pivotantes à un seul vantail. Toutefois cette disposition pourrait être modifiée, en certains cas, suivant les idées qui seront soumises par les constructeurs spéciaux auxquels on demandera des projets d'exécution.

C'est sur ces données qu'ont été prévues les écluses dans le projet dont il est ici question. Il y est ménagé au-dessous du plan d'eau minimum une profondeur aux seuils de 9^m50 à l'aplomb des bajoyers et 10 mètres sur l'axe. L'épaisseur du bajoyer intermédiaire entre les deux sas a été déterminée dans l'hypothèse où l'un des sas, par suite de nécessités de réparations, serait mis à sec, ce qui conduit à une épaisseur de 15 mètres au droit de la partie amincie correspondant à la portée d'appui des portes. L'alimentation et la vidange des

sas seront assurées par des conduites en fonte de 2^m80 et 2^m70 de diamètre logées dans les radiers sur les deux rives de chaque sas et percées de tubulures verticales de 0^m40 de diamètre espacées de 2 mètres en 2 mètres. Cette disposition permettra une distribution de l'eau sur toute la surface du sas simultanément. Les conduites seront commandées par des puits verticaux munis de vannes cylindriques et mis en communication avec les biefs. Ces puits et les aqueducs qui les relient aux conduites métalliques sont logés dans la maçonnerie des bajoyers.

La maçonnerie des écluses est prévue généralement en béton avec mortier de ciment. Seules les parties appelées à un travail spécial seront en pierres qui seront expédiées d'Europe toutes taillées.

On a prévu en amont des écluses des portes de garde et de protection destinées à éviter la vidange accidentelle des biefs.

Des estacades en charpente seront également exécutées aux abords des écluses en prolongement des bajoyers pour faciliter la mise en direction des bateaux à l'entrée et à la sortie.

Le mode exact de construction de ces estacades fera l'objet d'études spéciales au moment voulu ; il en sera de même pour les portes, la machinerie et en général tous les appareils mécaniques. Ces parties d'ouvrages ne figurent au projet qu'à titre indicatif et en vue de leur évaluation approximative.

ARTICLE 5.

BASSINS DE DÉBOUQUEMENT AUX EXTRÉMITÉS DU CANAL

On a jugé qu'il fallait se borner quant à présent, à faire sous ce rapport ce qui serait strictement nécessaire pour suffire aux premiers besoins de l'exploitation. Il sera temps lorsque le transit commencera à se développer de réaliser les installations complètes qui constitueront des ports de débouquement proprement dits. A Colon il existe actuellement, près de l'origine même du canal, un port pourvu de bassins et wharfs en communication directe avec le chemin de fer de l'Isthme. Ces installations, bien que restreintes et sommaires, suffiront à l'origine pour les opérations que pourront avoir à accomplir les navires avant leur entrée dans le canal. Cependant, comme la tenue de la rade est mauvaise par certains vents, il est utile de fournir aux navires devant transiter par l'Isthme un abri sûr dans lequel ils pourront attendre le moment de leur départ.

A cet effet, il est prévu à l'origine même du canal, à la suite de la baie de Folk-River, un grand garage de 1.000 mètres de longueur et 150 mètres de largeur. Des moyens d'amarrage seront installés sur les rives, et une estacade en charpente pourra être exécutée, en bordure d'une partie de ce bassin, pour permettre aux bateaux les opérations d'embarquement et de débarquement.

A l'autre extrémité du canal, au point où il débouche dans la baie de Panama, à la Boca, il a été prévu un grand bassin bordé d'un wharf qui est relié aux installations d'une gare créée sur le terre-plein de la Boca et devenue un terminus du P. R. R. Ce port recevra ultérieurement les développements qui seraient nécessaires. Ces travaux ont été exécutés par la Compagnie du P. R. R., qui a vu un grand intérêt à se mettre dès maintenant, pour les échanges commerciaux, en relation immédiate avec la navigation, alors que jusqu'aujourd'hui, en raison de l'impossibilité où sont les navires d'un tirant d'eau un peu fort d'arriver au port de Panama, ces échanges ne peuvent se faire qu'au large des îles Naos par des transbordements coûteux. Le chenal maritime entre les îles et le port de la Boca n'a toutefois été creusé quant à présent que jusqu'à 9 mètres au-dessous de la mer moyenne; il devra être approfondi de 3 mètres lors de l'achèvement du canal.

ARTICLE 6.

TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX DU CANAL

Les déblais nécessaires pour réaliser le canal dans les conditions du projet adopté se répartissent de la manière suivante dans les différents biefs :

Bief maritime de l'Atlantique. — On a indiqué à l'article 3 le profil-type qui avait été adopté pour ce bief; il comporte une largeur au plafond de 30 mètres ou de 34 mètres suivant qu'il s'agit de terrain ordinaire ou de terrain rocheux. Ce bief a été creusé par l'ancienne Compagnie sur presque toute sa longueur et à une profondeur qui se rapprochait de la profondeur définitive. Des apports, qui résultent principalement de l'envahissement du Chagres dans le canal ainsi creusé, ont relevé dans une certaine mesure le fonds anciennement réalisé. L'ancienne Compagnie n'avait donné au canal qu'une largeur de 22 mètres au plafond et les déblais ont été rejetés en cavaliers sur les rives par les dragues à long couloir qui ont servi à l'excavation. Pour réaliser les largeurs aujourd'hui adoptées l'on devra retrousser les anciens dépôts pour élargir l'emprise du

canal. La Compagnie Nouvelle a pensé que pour éviter de prime abord des dépenses importantes l'on pourrait, pour l'ouverture du canal à l'exploitation, se contenter de la largeur au plafond de 22 mètres réalisée par l'ancienne Compagnie et procéder ensuite, par des dragages qui seront faciles, à l'élargissement définitif en cours d'exploitation. C'est dans ces conditions qu'a été calculé le cube des déblais à faire, pour le moment, dans ce bief et qui s'établit ainsi :

Déblais de terrain ordinaire	5.870.000	mètres cubes
Déblais de terrain rocheux	538.000	—
Total	6.408.000	—

Sur ce cube, on peut estimer que 4.800.000 mètres cubes pourront être exécutés directement à la drague.

Bief de Bohio. — Les déblais nécessaires pour réaliser un chenal de 50 mètres de largeur au plafond à travers le lac de Bohio, dans lequel ce bief se trouve incorporé, représentent un cube total de 8.350.000 mc.
ainsi répartis { Déblais ordinaires 6.350.000 mc.
 { Déblais rocheux 2.000.000 mc.

Une partie des déblais ordinaires pourra sans doute être exécutée à la drague.

Bief de partage. — Le cube total des déblais nécessaires pour réaliser ce bief dans les conditions de profil indiquées à l'article 3 s'élève à 23.850.000 mc.
ainsi répartis { Déblais de terre 6.250.000 mc.
 { Déblais de terrain dur ou rocheux 17.600.000 mc.

Dans le cube total indiqué ci-dessus le déblai du massif propre de la Culebra compris entre les P. K. 53.600 et 55.500 du canal figure pour un cube de 11.200.000 mc.
et, comme les travaux de l'ancienne Compagnie ont enlevé sur toute l'emprise à occuper à peu près tout le terrain argileux de la couche supérieure, le cube ci-dessus représente presque entièrement un déblai de terrain dur ou rocheux.

Les lieux de décharge prévus pour cet important cube de déblais sont, pour le massif de Culebra, la vallée du Lirio située en amont et la vallée de la Quebrada Mallejon située en aval; elles fournissent amplement, et au delà, les capacités nécessaires. Pour le massif d'Emperador, on utilisera les dépressions qui se rencontrent latéralement le long de la tranchée ainsi que la vallée du

Rio Mandingo qui se trouve vers l'extrémité amont et fournit une décharge d'une grande capacité.

Bief de Paraiso. — Ce bief, d'une longueur de 2.427 mètres, entre l'écluse de Paraiso et l'échelle de Pedro-Miguel, comporte un cube total de déblais de..... 1.453.000 mc.
ainsi répartis { Déblais de terre..... 759.600 mc.
 { Déblais rocheux..... 693.400 mc.

Bief de Pedro-Miguel. — Ce bief, d'une longueur de 2.117 mètres compris entre l'échelle de Pedro-Miguel et l'écluse de Miraflorès, comporte un cube total de déblais s'élevant à..... 1.108.400 mc.
ainsi répartis { Déblais de terre..... 617.600 mc.
 { Déblais rocheux..... 450.800 mc.

Bief maritime du Pacifique. — Le creusement de ce bief exige un déblai total de..... 9.639.000 mc.
ainsi répartis { Déblais de terre..... 9.051.000 mc.
 { Déblais rocheux..... 588.000 mc.

La plus grande partie des déblais de terre pourront se faire à la drague, mais ils devront subir un transport assez long qui fera disparaître, en partie du moins, les avantages de ce mode de travail.

RÉSUMÉ. — En résumé les terrassements généraux nécessaires pour le creusement du canal proprement dit se répartissent conformément au tableau suivant :

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

Les cubes indiqués ci-dessus ont été calculés au moyen de profils en travers levés avant l'exécution des travaux actuellement en cours à la tranchée centrale; les déblais faits dans ces travaux et qui représenteront environ 3 millions de mètres cubes ne sont donc pas déduits: ils compenseront les cubes supplémentaires non évalués provenant de causes qu'on ne peut exactement déterminer aujourd'hui, tels que éboulements possibles et surélargissements à donner dans certaines courbes. Il en est de même pour les déblais de dragages, qui viennent d'être exécutés pour le chenal d'accès et le port de la Boca, représentant un cube d'environ 2.000.000 mc.

REVÊTEMENT DES PAROIS DU CANAL

Il sera nécessaire, pour assurer la stabilité des parois du canal dans certaines parties, d'y exécuter des revêtements en maçonnerie. L'on ne peut aujourd'hui déterminer l'importance de ces revêtements dont la nécessité ne se révélera qu'au moment même de l'exécution des déblais. Cependant, il a été prévu un revêtement général des parois de la cuvette mouillée de la tranchée du bief de partage depuis la banquette prévue à 2^m50 en contrebas du plan d'eau minimum jusqu'à 2 mètres au-dessus du plan d'eau maximum. Le cube de maçonnerie de béton de ciment qui en résulte est de 69.500 mètres cubes et ce cube a été doublé, à titre de prévision conjecturale, pour tenir compte des revêtements qui pourront être nécessaires sur d'autres points.

ARTICLE 7.

OUVRAGES D'ART

Les principaux ouvrages d'art du canal sont:

- 1° — Les écluses.
 - 2° — Les barrages qui les accompagnent et complètent la fermeture des biefs; ces barrages sont accompagnés de déversoirs pour écouler les trop pleins de ces biefs.
-

ECLUSES

Les conditions générales adoptées pour les écluses ont été indiquées à l'article 4; il ne sera question ici que des particularités spéciales à leur construction. Les dépenses ont été évaluées dans l'hypothèse où l'on réaliserait de suite les deux sas avec les largeurs respectives de 25 mètres et de 18 mètres. On indiquera à l'article des dépenses générales l'augmentation à laquelle on serait conduit si l'on donnait aux deux sas la même largeur de 25 mètres; on indiquera également la réduction qui résulterait provisoirement de l'ajournement de la construction du petit sas.

En raison de la difficulté d'avoir dans l'Isthme de nombreux ouvriers maçons, l'on a dû exclure le plus possible des ouvrages d'art l'emploi de maçonnerie de moellons pour y substituer de la maçonnerie de béton qui n'exige pas un personnel aussi spécial. Les arêtes des couronnements, les chardonnets, les butées des portes et les seuils seront en pierre dure qui sera expédiée d'Europe toute taillée. Les écluses sont prévues partout dans des buttes presque entièrement rocheuses, et en général les bajoyers latéraux pourront consister simplement en de forts revêtements appliqués contre les parois des fouilles. Ces revêtements, dans ce cas, ont reçu 3 mètres d'épaisseur. Quand ces bajoyers ont à résister à une poussée des terres, leurs épaisseurs sont calculées par les méthodes ordinaires en admettant comme maxima une pression de 6 kilos par centimètre carré. Le bajoyer central a été calculé suivant la méthode appliquée pour un barrage en maçonnerie, en admettant que l'un des sas peut être entièrement à sec quand l'autre est plein. Un radier général en forme de voûte renversée est prévu entre les bajoyers. Les murs de tête des bajoyers sont pourvus de feuillures destinées à recevoir des bateaux-portes pour former batardeaux étanches en cas de réparations à faire aux diverses parties des écluses. Les dispositions spéciales à chacun des groupes d'écluses que comporte le canal sont les suivantes :

Ecluses de Bohio. — Ces écluses forment une échelle de deux échelons à établir dans une butte constituée par un conglomérat volcanique de roches diverses cimentées par une gangue sableuse pétrifiée. Ce terrain constitue un

sol de fondation très résistant et règne sur une longueur suffisante pour une échelle de deux écluses. A ses deux extrémités il se dérobe brusquement en plongeant sous des terrains argileux et tourbeux. La longueur totale occupée par les maçonneries de cette échelle est de 603 mètres; la hauteur des plus grandes portes, les portes d'aval de chaque sas, est de 22^m80 ainsi déterminée :

Revanche au-dessus du plan d'eau maximum.....	0.50
Distance entre le plan d'eau maximum et le seuil d'appui de la porte.	22.00
Hauteur d'appui contre le seuil.....	0.30
Total.....	22.80

La largeur des portes du grand sas est de 27 mètres y compris 1 mètre de portée d'appui sur chaque bajoyer; celle des portes du petit sas est de 20 mètres : ces dimensions s'appliquent aux portes de toutes les écluses.

Les travaux principaux nécessaires pour cette échelle d'écluses se résument ainsi :

Déblais de fouilles.....	1.031.000 mètres cubes.
Maçonneries (ensemble).....	432.300 —
Portes d'écluses.....	3.805 mètres carrés.
Tuyaux en fonte.....	1.700 mètres linéaires.
Vannes cylindriques.....	16

Ecluses d'Obispo. — Ces écluses forment également une échelle de deux échelons pour une chute totale maxima de 15^m25. Elles seront établies dans un massif compact de terrain rocheux de nature volcanique très résistant. La longueur totale occupée par les maçonneries est de 603 mètres comme précédemment; il serait facile d'établir sur le même terrain une échelle de 3 écluses. La hauteur des plus grandes portes est ici de 19^m25.

Les travaux principaux nécessaires pour cette échelle d'écluses se résument ainsi :

Déblais des fouilles.....	967.000 mètres cubes.
Maçonneries (ensemble).....	372.000 —
Portes d'écluses.....	3.230 mètres carrés.
Tuyaux en fonte.....	1.700 mètres linéaires.
Vannes cylindriques.....	16

Ecluse de Paraiso. — Cette écluse, prévue sur un emplacement où se rencontre un terrain de fondation rocheux, occupera une longueur totale de 337 mètres. Les conditions techniques des parties spéciales sont les mêmes qu'aux écluses précédentes. La chute maxima qu'elle aura à racheter est de 9 mètres et la hauteur des plus grandes portes sera de 19^m80. Les travaux principaux de cette écluse se résument ainsi :

Déblais des fouilles.....	570.000 mètres cubes.
Maçonneries (ensemble).....	215.000 —
Portes d'écluses.....	1.905 mètres carrés.
Tuyaux en fonte.....	850 mètres linéaires.
Vannes cylindriques.....	10

Ecluses de Pedro-Miguel. — Les écluses prévues en ce point constituent une échelle de deux échelons pour une chute totale maxima de 18 mètres. Elles seront établies sur un sol de fondation rocheux ; la longueur totale des maçonneries est de 603 mètres. La hauteur des plus grandes portes est de 19^m80. Les travaux principaux que comporte cette échelle d'écluse se résument ainsi :

Déblais des fouilles.....	687.300 mètres cubes.
Maçonneries (ensemble).....	404.500 —
Portes d'écluses.....	3.275 mètres carrés.
Tuyaux en fonte.....	1.700 mètres linéaires.
Vannes cylindriques.....	16

Ecluse de Miraflorès. — Cette écluse occupera une longueur totale de 337 mètres et sera fondée, comme les autres, sur un sol rocheux. Elle fera l'office d'écluse de marée et aura une chute variable entre 9^m25 au moment des plus basses mers coïncidant avec le niveau supposé au maximum dans le bief précédant l'écluse et 2^m25 au moment des plus hautes mers coïncidant avec le niveau supposé au minimum du bief précédant l'écluse. La hauteur des plus grandes portes sera de 20^m05. Les travaux principaux qu'elle comporte se résument ainsi :

Déblais des fouilles.....	362.800 mètres cubes.
Maçonneries (ensemble).....	228.680 —
Portes d'écluses.....	1.900 mètres carrés.
Tuyaux en fonte.....	850 mètres linéaires.
Vannes cylindriques.....	10

BARRAGES ET DÉVERSOIRS

Les écluses ou échelles d'écluses doivent être accompagnées partout de barrages ou de digues en terre destinées à fermer des dépressions latérales au canal et à compléter ainsi la fermeture des biefs. Les conditions d'exécution de ces ouvrages varient suivant les circonstances locales ; elles sont indiquées sommairement ci-après. Les dessins joints au dossier du projet fournissent à leur sujet des indications complètes.

Ouvrages de Bohio. — Il sera établi à Bohio :

1° — Un barrage en travers de la vallée du Chagres s'appuyant sur sa rive gauche contre la butte dite « de Bohio » dans laquelle sont établies les écluses et sur sa rive droite contre la butte dite du « Cimetière ».

2° — Un déversoir destiné à écouler au moment des crues, sur l'excédent qui ne sera pas retenu dans les réservoirs, un volume de 500 mètres cubes par seconde dans les dérivations de rive gauche du canal (1) ouvertes par l'ancienne Compagnie jusqu'à la mer et dont quelques parties seulement sont à compléter.

Ce déversoir sera établi dans une dépression que présente la butte du Cimetière.

3° — Un déversoir destiné à écouler 700 mètres cubes au moins par seconde dans les dérivations ouvertes ou à ouvrir sur la rive droite du canal, et par elles dans le lit même du Chagres, à partir du point où ce fleuve diverge complètement par rapport au tracé du canal. Ce déversoir sera établi dans une dépression constituant le col du Rio Gigante ; les eaux qui s'en échapperont trouveront tout d'abord leur écoulement dans le marais de Peña Blanca situé à droite du canal entre les P. K. 20.500 et 21.500.

Le bief de Bohio constituant un vaste lac destiné à retenir momentanément une partie de l'excédent des crues du Chagres jusqu'à concurrence de 150 millions de mètres cubes, ainsi qu'il a été expliqué dans le chapitre 1^{er} du présent rapport, aura un niveau variable, pouvant atteindre au maximum la cote (20) et descendre au minimum à la cote (16). Une tranche de 1 mètre de hauteur est prévue devoir y être emmagasinée au début de la saison sèche pour parer aux

(1) Le canal est considéré comme ayant son origine à Colon.

pertes du bief par évaporation ; la cote normale du bief est par suite (17). La tranche de 3 mètres comprise entre cette cote et la cote (20) correspond à une surface moyenne d'environ 5.000 hectares et fournit dès lors une capacité de 150 millions de mètres cubes.

Le barrage à établir sur le thalweg du Chagres formera une retenue de 20 mètres au-dessus du lit, qui, sur ce point, est à peu près à la cote zéro. Il sera arasé à la cote (23), avec une revanche de 3 mètres au-dessus des plus hautes eaux du lac. De nombreux sondages exécutés sur l'emplacement ou au voisinage du barrage à construire et poussés à de grandes profondeurs n'ont pas révélé le rocher dans la partie médiane de la vallée ; il est, par suite, nécessaire de recourir à un barrage en terre. La coupe géologique jointe au dossier montre que la constitution du sous-sol est favorable à l'exécution d'un ouvrage de ce genre. Le massif de corroi argileux formant le corps du barrage pourra être encastré à la cote moyenne (—1,50) dans un terrain ancien d'argile compacte ou d'argile sableuse imperméable constituant une couche épaisse superposée à un fond très dense de sable argileux mélangé de graviers.

Ce barrage aura une longueur en crête de 392 mètres. La coupe transversale jointe au dossier indique les conditions prévues pour la construction. Le puissant massif d'enrochements à établir contre son talus d'aval jusqu'à la cote (16) a principalement pour objet de permettre aux grandes crues de submerger l'ouvrage en cours de construction sans qu'il puisse en résulter des chances de destruction ou d'avaries graves. Cette submersion ne sera d'ailleurs susceptible de se produire que tant que le barrage n'aura pas atteint la cote (14). On aura en effet préparé et dérasé l'emplacement des futurs déversoirs à la cote 10 ou 11 où se rencontre le rocher sur lequel seront assises leurs fondations. Les pertuis ainsi préparés livreront alors passage aux crues, dès que le barrage dépassera leur niveau d'arasement.

Le mode d'exécution et le programme d'organisation à suivre pour la construction de ce barrage ont été arrêtés dans les soixante-septième et quatre-vingt-quinzième séances du Comité technique qui a reconnu qu'en raison de la nécessité inévitable de procéder par phases successives à l'exécution des écluses et à celle du barrage et des déversoirs, l'achèvement de l'ensemble des ouvrages constituant la fermeture de la vallée à Bohio et la régularisation des écoulements ultérieurs du lac exigera un délai qui, vraisemblablement, ne pourra être inférieur à dix ans environ.

Les déversoirs seront en maçonnerie et munis de vannes levantes métalli-

ques d'un système bien étanche, tel par exemple, que le système de vannes Stoney appliquées sur le canal de Manchester. Les travaux principaux que comportent ces ouvrages, barrage et déversoirs, se résument comme il suit :

Déblais divers.....	1.057.800 mètres cubes	
Remblai en corroi.....	325.700	—
Maçonnerie avec mortier.....	34.050	—
Maçonnerie à pierres sèches...	18.900	—
Enrochements.....	39.800	—
Bois pour pieux-moises, etc....	3.260	—
Ferronnerie.....	213.500 kilog.	
Platelages.....	370 mètres carrés	
Vannages.....	425	—

Barrage d'Obispo. — Les écluses d'Obispo, terminant le bief de partage, du côté de l'Atlantique, sont accompagnées d'un barrage qui ferme la vallée du Rio Obispo et rejette ainsi ce Rio dans le bief même de partage. L'emplacement de ce barrage est entièrement rocheux et l'ouvrage est projeté en maçonnerie de béton de ciment. Ses fondations sont au plus bas à la cote (13), la retenue qu'il soutient étant au maximum à la cote (31,25), elle représente 18^m25 au-dessus du point le plus bas du barrage. La longueur en crête de cet ouvrage est de 100 mètres. Un déversoir de 50 mètres de longueur muni de vannes y est ménagé. Son seuil est à la cote (30,50), et il peut, sans que la retenue dépasse le niveau (31,25) écouler 70 mètres cubes par seconde en cas de trop plein du bief. Le profil du barrage est établi d'après les meilleures règles aujourd'hui usitées.

Les travaux principaux de ce barrage se résument ainsi :

Déblais divers.....	4.460 mètres cubes.
Maçonnerie.....	8.000 —
Platelage en bois.....	440 mètres carrés.
Ferronnerie.....	20.000 kilogrammes.
Vannage.....	50 mètres carrés.

Barrage de Paraiso. — L'écluse de Paraiso, terminant le bief de partage du côté du Pacifique, est également accompagnée d'un barrage sur la dépression formée par la vallée du Rio Grande. Cet ouvrage peu important serait établi sur

un sol rocheux ; il est prévu en maçonnerie de béton de ciment. Sa longueur en crête est de 99 mètres, et sa hauteur est de 8 mètres.

Un canal émissaire, pourvu d'un vannage régulateur, est prévu, indépendamment du barrage, pour concourir, le cas échéant, à l'écoulement du trop plein du bief. Le vannage régulateur de cet émissaire a 35 mètres de longueur ; il a son seuil à la cote (30,50) et peut écouler un débit de 50 mètres cubes par seconde sous la charge correspondant au niveau maximum du bief.

Les travaux principaux que comportent ces ouvrages, barrage et émissaire, se résument ainsi :

Déblais divers.....	442.700 mètres cubes.
Maçonnerie.....	5.200 —
Platelage.....	60 mètres carrés.
Ferronnerie.....	7.000 kilogrammes.
Vannage.....	36 mètres carrés.

Barrage de Pedro-Miguel. — L'échelle d'écluses de Pedro-Miguel doit également être accompagnée d'un barrage pour fermer la vallée du Rio Grande qui coupe ici encore le canal. Le terrain n'étant pas propice à l'exécution d'un barrage en maçonnerie, il est prévu une digue en terre. Elle aura au plus haut 9^m,75 au plan d'eau, sa longueur en crête est de 389 mètres. La plus grande partie ne comporte qu'une faible hauteur. Cette digue doit être exécutée à droite du canal ; sur la gauche est prévu dans la tranchée rocheuse du chemin de fer qui doit être dévié, un déversoir en maçonnerie d'une longueur en crête de 47 mètres. Les travaux principaux exigés par ces ouvrages se résument comme suit :

Déblais divers.....	47.950 mètres cubes
Remblais.....	111.900 —
Maçonneries.....	690 —
Enrochements.....	7.500 —

Barrage de Miraflores. — L'écluse de Miraflores est accompagnée d'un barrage fermant encore une dépression du Rio Grande. C'est un ouvrage en maçonnerie peu important, dont la hauteur maxima au plan d'eau ne dépasse pas 5 mètres ; sa longueur en crête est de 96^m50.

Les travaux qu'il comporte sont :

Déblais.....	869 mètres cubes.
Maçonnerie.....	1.000 —

ARTICLE 8.

MODE D'ALIMENTATION DU CANAL ET OUVRAGES QU'IL COMPORTE

Ainsi qu'il a été expliqué au chapitre I^{er} du présent rapport, le mode d'alimentation du canal adopté dans le projet dont l'exposé est présenté ici est réalisé au moyen d'une dérivation du Chagres ayant son origine dans la vallée supérieure au lieu dit « Alhajuela », où serait construit un barrage de retenue, et aboutissant au bief de partage par une rigole d'adduction à établir sur les versants de rive gauche de la vallée. Les ouvrages que comporte l'alimentation se composent :

- 1° — Du barrage de retenue d'Alhajuela ;
- 2° — De ceux exigés pour la construction de la rigole alimentaire entre ce point et le bief de partage.

Barrage d'Alhajuela. — Le barrage projeté sur ce point n'a pas seulement pour objet de déterminer la retenue destinée à relever le plan d'eau du Chagres au niveau convenable pour desservir la rigole alimentaire, il a un but plus général et doit, comme il a été dit au chapitre I^{er}, constituer un vaste lac-réservoir dans lequel seront emmagasinées, d'une part les réserves d'alimentation du canal et des forces motrices nécessaires à son exploitation pendant la période d'insuffisance des débits du Chagres qui peut être d'environ trois mois, d'autre part une partie du débit maximum des crues du fleuve, de façon à ne laisser écouler dans la vallée inférieure que les volumes voulus pour répondre aux conditions d'aménagement des crues qui ont été indiquées au chapitre I^{er}.

Le barrage est prévu dans un étranglement très favorable que présente la vallée du Chagres, en un point situé à peu près à 15 kilomètres, à vol d'oiseau, du point où le fleuve rencontre pour la première fois le tracé du canal (P. K. 45). Là, on trouve un sol rocheux compact, dont la plus grande profondeur est d'environ 9 mètres au-dessous du niveau de l'étiage du Chagres qui, sur ce point, est à la cote (28,40). Le lac à créer par ce barrage aura, à l'altitude de la cote (61), une surface qui a été trouvée de 2.300 hectares par les opérations exécutées à cet effet.

Le point de départ du plan d'eau de la rigole alimentaire a été fixé à la cote (58), ce qui constitue, par rapport à l'altitude maxima du bief de partage (31,25), une pente totale de 46^m75 pour un développement d'environ 15 kilom. 500. La réserve à constituer pour l'alimentation du canal et la produc-

tion des forces motrices ainsi que pour parer aux pertes naturelles du lac lui-même dans la période de déficit du Chagres, a été évaluée à 160.000.000 mètres cubes ; elle exigera, dans le réservoir, pour son emmagasinement, une tranche de 6^m50 de hauteur à partir de la cote (58), ce qui conduit à la cote (64,50).

Au-dessus de cette cote on doit emmagasiner 100 millions de mètres cubes à retenir sur les crues, d'après les prévisions faites pour leur aménagement, ce qui exige une nouvelle tranche de 3^m50 de hauteur et conduit à la cote (68) pour le niveau le plus élevé du lac. L'arasement du mur de barrage est prévu à la cote (70), et il est en outre surmonté d'un fort parapet de 1 mètre de hauteur. Le niveau d'étiage étant à la cote (28,40), la retenue maxima à créer est de 40 mètres environ. Le point le plus bas des fondations étant à la cote (19) environ, la hauteur maxima du barrage sera d'environ 50 mètres au-dessus des fondations ; sa longueur en crête est de 285^m50. Cet ouvrage est projeté entièrement en béton avec mortier de ciment ; son profil a été calculé d'après les meilleures règles aujourd'hui usitées, de façon que la pression maxima par centimètre carré ne dépasse pas 6 kilog. 50, ce qui est modéré. L'ouvrage sera accompagné d'un déversoir à creuser dans le plateau qui couronne, à la cote (75) environ, la croupe rocheuse contre laquelle vient s'appuyer le barrage sur la rive gauche du Chagres. Les dessins du dossier donnent toutes les indications nécessaires sur les dispositions prévues pour ces ouvrages.

D'autre part les procès-verbaux de la 69^e et de la 95^e séance du Comité technique reproduisent complètement les mesures adoptées en ce qui concerne le plan de campagne et la méthode à suivre pour l'exécution de cet ouvrage. On rappellera seulement ici que pour rendre ce chantier, ainsi que ceux de la rigole alimentaire, facilement accessibles, on a prévu un chemin de fer entre Obispo et Alhajuela. Le temps nécessaire pour l'exécution du barrage d'Alhajuela a été, conformément aux indications fournies dans les séances ci-dessus relatées du Comité technique, évalué à cinq années.

Les travaux principaux qu'il comporte se résument comme suit :

Déblais de terrain ordinaire.....	51.400	mètres cubes
Déblais de terrain de rocher.....	48.900	—
Maçonneries.....	150.000	—

L'exécution exige la création d'une galerie de dérivation des eaux du Chagres et d'un barrage provisoire pour rejeter les eaux dans cette galerie qui aura 300 mètres de longueur et une section de 77 mètres carrés.

Le déversoir, à creuser entièrement dans le rocher, aura un débouché linéaire libre de 50 mètres, pouvant écouler 700 mètres cubes par seconde, et sera pourvu d'un vannage métallique, du même type que ceux qui seront appliqués aux déversoirs de Bohio, dont le seuil fixe sera à la cote (50) et la crête à la cote (63). L'émissaire de ce déversoir nécessitera un déblai important dans la roche, dont les produits seront en grande partie utilisés pour la maçonnerie du barrage.

Les travaux principaux de ce déversoir comprennent :

Déblais rocheux.....	109.200 mètres cubes
Maçonnerie.....	450 —
Platelage.....	150 mètres carrés.
Vannage.....	210 —
Ferronnerie.....	80.000 kilog.

RIGOLE D'ALIMENTATION

La rigole est projetée en vue de fournir dès le début un débit de 25 mètres cubes à la seconde. Les travaux sont disposés de façon qu'il sera possible d'augmenter ce débit de 10 mètres cubes, en laissant prendre à l'eau dans la rigole une hauteur supplémentaire de 0,50 en exhaussant d'autant les déversoirs régulateurs prévus en divers points de la berge sur tout son parcours.

Le niveau du plan d'eau au départ est fixé à la cote (58): c'est le niveau minimum assigné au plan d'eau du réservoir d'Alhajucla.

La région que doit suivre le tracé de la rigole se divise, au point de vue de la configuration générale du sol, en trois parties bien distinctes :

La première partie, comprise entre l'origine à Alhajucla et la vallée du Chilibre, sur une étendue de 3 kilomètres et demi environ, est représentée dans son aspect général par une sorte de plateau rocheux, découpé par plusieurs Rios encaissés, formant des ravins à pentes escarpées et très sinueux. Il serait très difficile et très onéreux de chercher, dans cette partie, à établir une rigole à flanc de coteau, en contournant les sinuosités de ces Rios. La solution adoptée,

et qui conduit à des ouvrages d'une exécution simple, consiste à traverser directement le plateau, en se tenant peu éloigné de sa bordure du côté de la vallée du Chagres et à barrer au passage les ravins qui le découpent, de façon à constituer de petits laes qu'emprunte la rigole pour franchir ces ravins. Les parties de plateau trop élevées au-dessus du plafond de la rigole sont traversées en souterrains. La longueur totale des souterrains projetés dans cette partie, qui s'étend jusqu'au P. K. 3.500, est de 595 mètres. Les barrages, tous établis en maçonnerie, sur un rocher solide qui se rencontre à de très faibles profondeurs, et quelques digues latérales prévues à la rencontre de dépressions secondaires, représentent ensemble un cube total de maçonnerie de 8.500 mètres cubes. Le chemin de fer projeté passe partout très près des ouvrages à construire, et il suffira d'établir quelques embranchements Decauville très courts pour l'accès des chantiers.

La seconde partie comprend la traversée de la vallée du Chilibre, affluent important du Chagres, et du Juan Mina, affluent secondaire voisin du premier. Elle représente, entre le point où la rigole y aboutit et le point où elle en sort, une largeur, à vol d'oiseau, de 3.150 mètres environ. Le terrain forme, dans cette traversée, une vaste dépression qui se trouve bien en contrebas du niveau que devrait avoir le plafond de la rigole si elle était prolongée à ciel ouvert sur ce parcours. Il a paru que le moyen le plus rationnel et le moins onéreux était de franchir cette vallée par un siphon renversé composé de 2 tronçons, l'un de 1.400 mètres et l'autre de 610 mètres de long séparés par une partie de rigole à ciel ouvert de 1.140 mètres de longueur. A la traversée du Chilibre, est prévu un ouvrage métallique important sur lequel vient reposer le siphon. Les trois tubes de 2^m40 en tôle d'acier qui le constituent fournissent, sous la charge totale disponible, un débit de 25 mètres cubes par seconde ; les travaux d'infrastructure et d'abri sont prévus de façon à permettre ultérieurement, si c'est nécessaire, la pose d'un quatrième tube pour porter à 33 ou 35 mètres cubes à la seconde le débit du siphon.

La troisième partie est formée par le versant plus ou moins accidenté d'une chaîne continue, sensiblement parallèle au Chagres, et sur lequel la rigole se développe par un tracé à flanc de coteau. Ce versant est coupé en plusieurs points par des dépressions assez profondes constituant des thalwegs secondaires, perpendiculaires à la direction générale de la chaîne. Les solutions adoptées pour franchir ces dépressions varient suivant les circonstances. Pour quelques-unes il a été adopté une traversée au moyen d'un pont-bâche ; pour d'autres, il

est plus simple et plus économique d'adopter la solution déjà appliquée sur la première partie et consistant à barrer le Rio au passage de la rigole pour former un petit lac : ces ouvrages ne sont nulle part de très grande importance ; et les conditions se présentent partout favorablement pour les fondations. La rigole rencontre en divers points sur ce parcours quelques croupes d'un relief prononcé qu'il eût été coûteux et peut-être dangereux de couper par des tranchées à ciel ouvert : on les franchira par des souterrains de faibles longueurs. A son extrémité aval elle vient se buter contre un col à l'altitude (75,00) qui sépare le vallon secondaire du Rio Gamboa dans lequel elle aboutit de celui d'un autre Rio qui coule vers le bief de partage. Il n'y a pas d'autre solution possible pour franchir ce col que celle d'un souterrain qui aura, dans l'espèce, 430 mètres de longueur. Le tracé qui vient d'être décrit satisfait aussi bien au projet avec plafond du bief de partage à la cote (29,50) qu'au projet avec plafond à la cote (20,75) pour lequel on est conduit à conserver les mêmes dispositions générales de la rigole. Si, en effet, l'on voulait abaisser son point d'arrivée, on serait obligé d'allonger beaucoup le souterrain terminal, sans trouver d'ailleurs de réduction sensible dans les dépenses sur tout le reste du parcours, ni plus de simplicité dans les travaux. En la laissant au contraire déboucher à la même cote, on pourra disposer d'une chute de 9 mètres créant ainsi sans autres frais une force considérable.

CONDITIONS TECHNIQUES SPÉCIALES

La rigole d'alimentation comporte quatre sortes de travaux, savoir :

- 1° — Terrassements pour le creusement de la rigole.
 - 2° — Dignes et barrages en maçonnerie.
 - 3° — Levées et digues en terre.
 - 4° — Ouvrages d'art divers.
-

TERRASSEMENTS ET PROFILS DE LA RIGOLE

La rigole est creusée, presque partout, entièrement en déblai, de manière à ce que son étanchéité soit naturellement assurée le mieux possible ; ce n'est qu'à la traversée des Rios, et sur quelques points où l'économie du tracé obligeait à côtoyer simplement le versant, qu'il a été nécessaire de créer des barrages et des digues qui sont, du reste, en général de peu d'importance.

La rigole a une longueur totale de 15.250 mètres, entre le lac d'Alhajuela et le barrage régulateur d'aval par lequel elle se déversera dans un bassin qui formera comme un estuaire d'accès au bief de partage.

Le plafond de la rigole est arasé au départ à la cote (55,50) ; sa pente est régulièrement de 0^m80 par kilomètre dans les parties où les parois sont en terre ou rocher non revêtues, et de 0^m60 par kilomètre dans les souterrains et les ponts-bâches. La pente a été réduite également à 0^m60 par kilomètre dans la partie à ciel ouvert entre les deux siphons de la vallée du Chilibre. Le niveau du plafond à l'extrémité aval de la rigole est à la cote (38,78). Au delà de ce point le chenal que forme le bassin du bief de partage est à la cote (37,00) environ. La rigole se développe en plan en une série d'alignements et de courbes ; les rayons de celles-ci ne descendent pas au-dessous de 60 mètres.

Les profils de la rigole sont de deux types pour la partie à ciel ouvert ; le Comité technique a examiné spécialement dans sa 91^e séance la question de la section des profils qui ont été calculés au moyen de la dernière formule établie par M. Bazin, et assure largement le débit maximum de 25 mètres cubes par seconde. Il est prévu, en outre, une revanche de 1 mètre au-dessus du plan d'eau, ce qui permettrait de porter le débit jusqu'à 40 mètres cubes au moins, si c'était nécessaire, en augmentant la hauteur d'eau. La rigole est donc en état de parer à toute éventualité présente et future.

DIGUES ET BARRAGES EN MAÇONNERIE. — LEVÉES ET DIGUES EN TERRE

Lorsque la rigole doit franchir un Rio ou une dépression ne dépassant pas 5 à 6 mètres de profondeur par rapport à son plan d'eau normal, il est prévu une digue latérale pour constituer la paroi manquante. Ces digues sont en maçonnerie sur les points où on peut les asseoir sans dépense trop importante sur le rocher, notamment entre l'origine et la vallée du Chilibre. Elles sont en terre sur les autres points.

Les digues et barrages en maçonnerie sont au nombre de 28 formant un cube total de maçonnerie de 29.000 mètres cubes. Elles sont en béton de ciment et leur section est calculée suivant les règles actuellement usitées. Sur chacun de ces ouvrages il est pratiqué des déversoirs suffisants pour écouler facilement les eaux fournies par les Rios et les Quebradas barrés et par les versants susceptibles de déverser leurs eaux dans la rigole.

Le nombre total de digues en terre est de 16 formant en tout un remblai de 10.000 mètres cubes environ et un cube de corroi de 1.400 mètres cubes. Elles sont également établies de façon à donner toute sécurité.

A la sortie du premier siphon dans la vallée du Chilibre, le terrain naturel étant en contrebas du plafond que doit avoir la rigole à air libre, il est prévu une levée en terre de 230 mètres de longueur, et d'une hauteur variant de 5^m70 à 0. La cuvette tout entière sera revêtue d'un corroi argileux de 0,60 d'épaisseur. Cette levée représente un cube de 62.000 mètres cubes de terre et 7.000 mètres cubes de corroi.

OUVRAGES D'ART DIVERS

Les ouvrages d'art divers comprennent deux siphons renversés, deux ponts-bâches, un pont sur le Rio Chilibre et 3 ouvrages secondaires établis, soit dans la vallée du Chilibre, soit à la traversée du Rio Juan Mina.

Les siphons sont formés chacun de 3 tuyaux en tôle d'acier de 2^m40 de diamètre, placés côte à côte, avec intervalle de 0,50 pour permettre d'y faire les réparations nécessaires. Les têtes de ces tuyaux pénètrent dans des barrages en maçonnerie, et sont munies chacune d'une vanne qui permet de fermer et d'ouvrir les tuyaux séparément pour les utiliser à volonté. Il est prévu au point bas de chaque conduite des vannes de vidange.

Le premier siphon a une longueur de 1.400 mètres, sa perte de charge est de 5^m24. Le rayon des tuyaux étant de 1^m20, en appliquant la méthode de calcul généralement usitée au service des eaux de la Ville de Paris, on a pour le débit total des trois tuyaux 26^m09.

Le deuxième siphon a une longueur de 610 mètres; sa perte de charge étant de 2 mètres et le rayon des tuyaux de 1^m20 le débit total est de 29^m16 pour les trois tuyaux.

Les besoins sont donc largement assurés. Les travaux d'infrastructure sont d'ailleurs établis, comme il est dit plus haut, en vue de la pose ultérieure d'un quatrième tuyau.

Les siphons seront posés sur des massifs en béton par l'intermédiaire de patins en fonte. Au point où ils traversent des cours d'eau, il est prévu des ouvrages en dessous pour assurer l'écoulement des eaux.

Les ponts-bâches sont prévus le premier sur le Rio Falupa au P. K. 9.128 et le deuxième sur le Rio Falupita au P. K. 10.100.

La bache a une section suffisante pour répondre également à tous les besoins.

SOUTERRAINS

Pour éviter des détours coûteux et qui auraient obligé à creuser la rigole sur des versants très escarpés, il a été projeté 14 petits souterrains formant ensemble une longueur de 1.555 mètres. La cuvette mouillée de ces souterrains sera revêtue. La partie supérieure le sera également si cela est reconnu nécessaire.

La section de ces souterrains a été calculée au moyen de la formule de M. Bazin et répond largement aussi à tous les besoins.

VOIES D'ACCÈS AUX CHANTIERS

Pour exécuter les divers ouvrages dont il vient d'être question, il sera fait, sur des points convenablement choisis, aux abords du chemin de fer de Gamboa à Alhajuela, des dépôts de matériaux. Il sera exécuté ensuite entre ces dépôts et les ouvrages à construire des embranchements en voie Decauville qui permettront de faire tous les transports nécessaires sur les chantiers. Ces embranchements ont un développement total de 5.000 mètres environ.

Le tableau ci-après résume les principaux travaux nécessités par l'exécution de la rigole projetée.

Déblais généraux	} Terres ordinaires.....	232.000	mètres cubes.
		} Rocher.....	386.000
Dignes en terre et levée entre les siphons....	} Remblais.....		73.000
		} Corrois argileux.	8.400
Souterrains divers.....	1.555		mètres linéaires.
Barrages divers et digues en maçonnerie de béton de ciment.....		29.000	mètres cubes.
Siphons dans la vallée du Chilibre, compre- nant les trois tubes, la plateforme de pose et le hangar.....		2.010	mètres linéaires.
Tablier métallique supportant le siphon au- dessus du Chilibre.....		45	—
Tabliers formant bêche sur la Falupa et la Falupita.....		90	—
Petites voies Decauville d'accès aux divers chantiers.....		5.000	—

ARTICLE 9.

CHEMIN DE FER DU HAUT CHAGRES

Le chemin de fer projeté pour rendre facilement accessible toute la région dans laquelle se développe la rigole alimentaire et celle du barrage d'Alhajuela se détache, près de Gamboa, d'un chemin de fer déjà existant le long du tracé de la grande tranchée du canal et relié lui-même au Panama Rail Road. Il aboutit au plateau situé à la cote (75) environ qui domine l'emplacement du barrage d'Alhajuela, plateau sur lequel seront établies les installations ouvrières et autres nécessaires pour la construction de cet ouvrage.

Le tracé de la voie projetée, qui est représenté en plan et profil en long par les dessins joints au dossier du projet, a été étudié de façon à se rapprocher de tous les points de la rigole où des ouvrages nécessitant l'apport des matériaux doivent être exécutés. Les profils en travers font voir qu'il peut être établi partout sur un terrain présentant de faibles déclivités transversales. Les mouvements des terres qu'il exige est peu important. Il sera facile d'établir à proximité de la voie les campements d'ouvriers, les installations qu'exigent les travaux et les dépôts de matériaux de construction.

Le chemin de fer est projeté à la voie normale du P. R. R. Ses courbes ont un rayon minimum de 150 mètres. Sa longueur est de 16 kilom. 200 mètres.

Les principaux travaux qu'il comporte se résument ainsi :

Déblais...	}	Terres ordinaires.....	125.500	mètres cubes
		Rochers.....	32.000	—
Remblais .	}	provenant des déblais.....	157.500	—
		Emprunts.....	12.800	—
Déblais pour fondations d'ouvrages.....			3.900	mètres
Maçonnerie pour ouvrages d'art (ensemble)			8.630	—
Tabliers métalliques sur la Falupa et la Falupita			33	mètres linéaires.
Tablier métallique sur le Chilibre.....			43	—
Tabliers métalliques de petites ouvertures (ensemble).....			103	—

L'exécution de ce chemin de fer est prévue devoir exiger deux années.

ARTICLE 10.

DISPOSITIONS ADOPTÉES POUR L'AMÉNAGEMENT DES CRUES DU CHAGRES. —
DÉRIVATIONS. — ÉLARGISSEMENTS.

Les conditions générales de la solution adoptée pour l'aménagement des crues du Chagres ont été indiquées au chapitre I^{er} du présent rapport. Elles consistent essentiellement à :

1^o — Laisser passer librement, pendant la période du flot maximum, un débit pouvant atteindre 1.200 mètres cubes par seconde par les déversoirs de Bohio et à écouler ce débit par des dérivations spéciales sur le côté gauche et sur le côté droit du canal.

2^o — A retenir l'excédent des crues, estimé dans les cas les plus défavorables à 250 millions de mètres cubes, dans le lac de Bohio pour 150 millions de mètres cubes et dans celui d'Alhajuela pour 100 millions de mètres cubes, les volumes ainsi retenus devant s'écouler ensuite au moment de la décroissance de la crue. Il reste à indiquer ici les dispositions spéciales adoptées pour réaliser ces conditions.

Deux déversoirs sont prévus à Bohio, l'un de 54 mètres de débouché sur la gauche du canal pour écouler 500 mètres cubes par seconde, l'autre de 78 mètres de débouché sur la droite, au col du Rio Gigante, pour écouler 700 mètres cubes. Ces déversoirs seront munis de vannes levantes de 3 mètres de hauteur dont le seuil fixe est arasé à la cote (14) et le sommet à la cote (17) quand elles sont complètement baissées. En temps normal les vannes resteront baissées dans la mesure nécessaire pour maintenir le niveau du lac à la cote (17). Lorsqu'une crue surviendra, les vannes seront relevées progressivement, de façon à maintenir ce niveau constant en laissant écouler tout ce qui se présente jusqu'à ce que les vannes, étant complètement levées de 3 mètres de hauteur, le débit de 1 200 mètres cubes par seconde soit atteint : la longueur totale des déversoirs est déterminée dans ce but.

A partir de ce moment, si l'apport de la crue augmente et dépasse 1.200 mètres cubes par seconde, les vannes seront abaissées progressivement de façon à limiter toujours l'émission par leur pertuis à ce débit et l'excédent s'emmagasinerait naturellement dans le lac en élevant son niveau au-dessus de la cote (17).

Il pourra arriver ainsi, si la crue est très importante, que ce niveau atteigne progressivement la cote (20) ; à ce moment les vannes auront été abaissées successivement jusqu'à la fermeture complète ; leur crête se trouvera ramenée à la cote (17), et le débit de 1.200 mètres cubes par seconde s'écoulera par-dessus avec une charge de 3 mètres ; la longueur des déversoirs est précisément calculée pour fournir sous cette charge le débit de 1.200 mètres cubes par seconde. L'emmagasinement de 150 millions de mètres cubes se trouvera ainsi réalisé. Des dispositions tout à fait analogues sont prévues au déversoir d'Alhajuela pour arriver à un emmagasinement de 100 millions de mètres cubes, en laissant passer un débit maximum de 700 mètres cubes par seconde. Il a été estimé, en effet, d'après les données que l'on possède, que cet apport joint à celui que produira naturellement dans le lac de Bohio, le bassin versant situé en aval d'Alhajuela, constituera un apport total maximum de 2.000 mètres cubes par seconde sur lequel 1.200 mètres cubes étant écoulés librement par les émissaires de Bohio, 800 mètres cubes seront retenus et formeront, pour la période de 48 heures au plus correspondant au passage du flot dangereux, le volume de 150 millions de mètres cubes à emmagasiner.

Pour écouler les 1.200 mètres cubes par seconde émis par les déversoirs de Bohio, des dériviations sont prévues à gauche et à droite du canal. Ces dériviations ont été en grande partie exécutées par l'ancienne Compagnie ; il suffira de les remettre en état et de les compléter. Elles seront entièrement isolées du canal et des levées seront établies dans les parties où elles seront nécessaires pour mettre le canal à l'abri de toute invasion éventuelle des eaux écoulées par les dériviations. Dans le cas où le débit de 1.200 mètres cubes par seconde qui leur est attribué viendrait à être dépassé accidentellement, l'écoulement de l'excédent se ferait dans le lit majeur compris entre les dériviations et les levées protectrices du canal.

ÉLARGISSEMENTS

Le lac de Bohio présente quelques parties sinueuses et rétrécies dans lesquelles le chenal même du canal occuperait presque toute la largeur libre pour l'écoulement. Il en résulterait, si l'on ne pratiquait pas des élargissements suf-

fisants, des courants dangereux pour la navigation. Ces parties étranglées seront rectifiées et élargies de façon que le courant possible au moment de l'apport maximum, ne dépasse pas une vitesse moyenne de 1 mètre par seconde.

ARTICLE 11.

DEVIATION DU PANAMA-RAIL-ROAD

Le chemin de fer actuel de l'Isthme coupe sur deux points le tracé du canal : il ne paraît pas possible d'admettre la traversée d'un canal de cette importance par un chemin de fer, en raison des sujétions qui en résulteraient pour la navigation. D'un autre côté, le niveau du lac de Bohio que comportent tous les projets étudiés, est supérieur pour une partie de son étendue au niveau du chemin de fer qui se trouverait ainsi noyé. Pour ces deux motifs, il est indispensable d'exécuter une déviation du chemin de fer de façon à le maintenir constamment sur le côté gauche du canal qu'il occupe aujourd'hui à son départ à Colon et à son arrivée à Panama. Cette déviation commencera un peu avant l'emplacement du barrage de Bohio et se terminera à Miraflores où elle rejoindra la ligne actuelle. L'étude définitive de cette déviation n'est pas encore faite ; il en a été dressé seulement un avant-projet qui permet d'en évaluer approximativement la dépense sur la base de 250.000 francs par kilomètre. La longueur totale de la déviation sera d'environ 50 kilomètres.

ARTICLE 12.

DÉPENSES GÉNÉRALES

Les dépenses auxquelles pourra donner lieu l'exécution même des travaux que comporte le projet dont l'exposé vient d'être fait, ont été évaluées avec soin et en détail pour toutes les catégories de travaux. Cette évaluation est établie d'après des métrés basés, en ce qui concerne les terrassements, sur des profils en travers nombreux levés spécialement dans ce but et, en ce qui concerne les ouvrages d'art, sur des dessins complets des dispositions techniques qu'il a paru

convenable de prévoir. Quelques-unes de ces dispositions pourront, au moment de l'exécution, être plus ou moins modifiées; mais les dépenses actuellement prévues ne paraissent pas devoir être notablement changées de ce fait. Seuls les prix unitaires qui ont été adoptés comme base des évaluations pourraient, par une amélioration probable des moyens d'exécution, se trouver sensiblement modifiés; il est donc permis de croire que ce serait plutôt dans un sens avantageux et que les prix figurant aux évaluations du projet sont des maxima.

Les dépenses générales se résument ainsi :

TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX

Bief maritime de l'Atlantique.....	Fr.	20.568.000
Bief de Bohio.....		33.225.000
Bief de partage.....		118.675.000
Bief de Paraiso.....		6.363.000
Bief de Pedro-Miguel.....		4.781.000
Bief maritime du Pacifique.....		30.387.000
Somme à valoir pour défauts d'évaluation et im- prévisions.....		21.000.000
Revêtements du canal.....		7.000.000

Dépense générale pour le creusement du canal.. Fr. 242.000.000

Les prix moyens appliqués, compris transports et toutes mains-d'œuvre, sont : pour le travail à la drague de 3 francs et exceptionnellement de 3 fr. 50 le mètre cube, de 3 fr. 50 pour les déblais ordinaires et de 5 fr. 50 le mètre cube pour les déblais de terrains rocheux.

Pour la grande tranchée et les autres travaux à sec, ils sont de 3 fr. 50 pour les déblais ordinaires et de 5 fr. 50 pour les déblais rocheux, compris également transports et toutes mains-d'œuvre.

Ces prix ont été établis, d'après les prix de revient des travaux actuellement en cours dans la grande tranchée, avec certaines corrections que l'appréciation des circonstances futures paraît justifier.

ÉCLUSES

Échelle de deux écluses de Bohio.....	Fr.	32.216.000
Echelle de deux écluses à Obispo.....		29.928.000
Ecluse de Paraiso.....		15.945.000
Echelle d'écluses de Pedro-Miguel.....		28.851.000
Ecluse de Miraflores.....		15.799.000
Estacades aux abords des écluses et machineries de manœuvre (ensemble).....		1.675.000
		<hr/>
Total.....	Fr.	124.414.000
Somme à valoir pour imprévisions.....		12.586.000
		<hr/>
Dépense générale des écluses.....	Fr.	137.000.000

Les prix des maçonneries ont été établis par une analyse directe et fixés à 50 francs le mètre cube.

BARRAGES ET DÉVERSOIRS

Barrages et déversoirs de Bohio compris les ouvrages provisoires.....	Fr.	10.981.000
Barrage déversoir d'Obispo.....		451.700
Barrage et déversoir de Paraiso.....		1.348.700
Barrage et déversoir de Pedro-Miguel.....		896.900
Barrage et déversoir de Miraflores.....		50.200
Barrage et déversoir d'Alhajueta, compris les ou- vrages accessoires.....		12.210.700
		<hr/>
Total.....	Fr.	25.939.200
Somme à valoir pour imprévisions.....		4.060.800
		<hr/>
Dépense générale des barrages.....	Fr.	30.000.000

Les prix calculés pour les maçonneries sont les mêmes que pour les écluses

en ce qui concerne les barrages sur le parcours du canal et portés à 60 francs pour le barrage d'Alhajuela.

DÉRIVATIONS ET ÉLARGISSEMENTS

Dérivation à gauche du canal	Fr.	5.547.000
Dérivation à droite du canal		5.550.000
Élargissements sur divers points du lac de Bohio (ensemble)		3.298.700
Total		Fr. 14.395.700
Somme à valoir pour imprévisions		1.604.300
Dépense générale des dérivations et élargissements		Fr. 16.000.000

CHEMINS DE FER

Déviation du P. R. R.	Fr.	14.000.000
Chemin de fer du Haut Chagres		1.617.000
Somme à valoir pour imprévisions		383.000
Dépense générale pour les chemins de fer . . .		Fr. 16.000.000

RIGOLE D'ALIMENTATION

Dépenses évaluées	Fr.	15.000.200
Somme à valoir pour imprévisions		1.999.800
Dépense générale pour la rigole		Fr. 17.000.000
Les expropriations sont évaluées à	Fr.	6.000.000

Les dépenses pour constitution de forces motrices
sont évaluées à..... 13.000.000
L'ensemble des dépenses résumées ci-dessus re-
présente un total de.....Fr. 477.000.000

Si l'on ajoute à ce total (en dehors des sommes à valoir déjà comptées à chaque article et dont le total s'élève à près de 42.000.000) pour tenir compte de travaux qui n'ont pas été envisagés et dont la nécessité pourrait se révéler, une somme blocale de.....Fr. 35.000.000

On arrive au total de.....Fr. 512.000.000
comme représentant le montant de la dépense à prévoir du fait des travaux proprement dits.

Cette dépense serait réduite de 40 millions environ si l'on ajournait provisoirement la construction du second sas à toutes les écluses.

La somme de 512 millions serait portée à 525 millions si l'on construisait immédiatement les écluses avec deux sas de largeurs égales de 25 mètres.

Paris, le 16 novembre 1898.

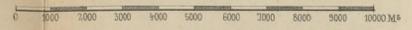
Signé : ROBAGLIA, Président — HENRY L. ABBOT — CASTEL — DAYMARD —
FARGUE — FTELEY — FULSCHER — HERSENT — HUNTER — KOCH — Jules MARTIN
— SKALKOWSKI.



PLAN GÉNÉRAL DU CANAL

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

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



- Légende**
- Tracé du Canal.
 - Derivations terminées.
 - - - Derivations non terminées.
 - Tracé du Panama Rail Road.
 - - - Deviation du Panama Rail Road.
 - Rigole d'alimentation.
 - - - Chemin de fer de Gamboa à Aihajuela.
 - - - Immeubles appartenant à la Compagnie.
 - - - Immeubles appartenant à des particuliers.
 - Ligne des fonds de 11^m32.
 - Limites des lacs artificiels.

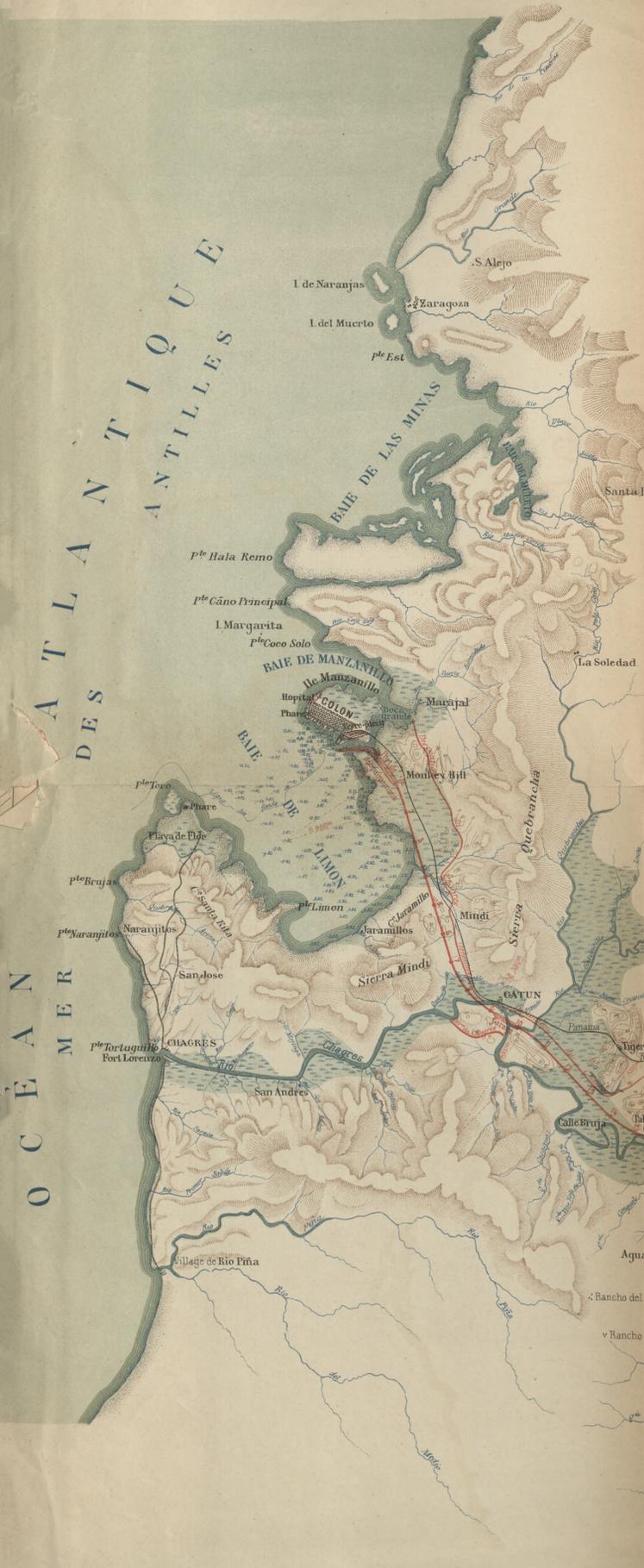
NOTA. — Les cotes d'altitude sont comptées en mètres au-dessus du niveau commun aux deux Océans.

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

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

Océan Atlantique

Océan Pacifique



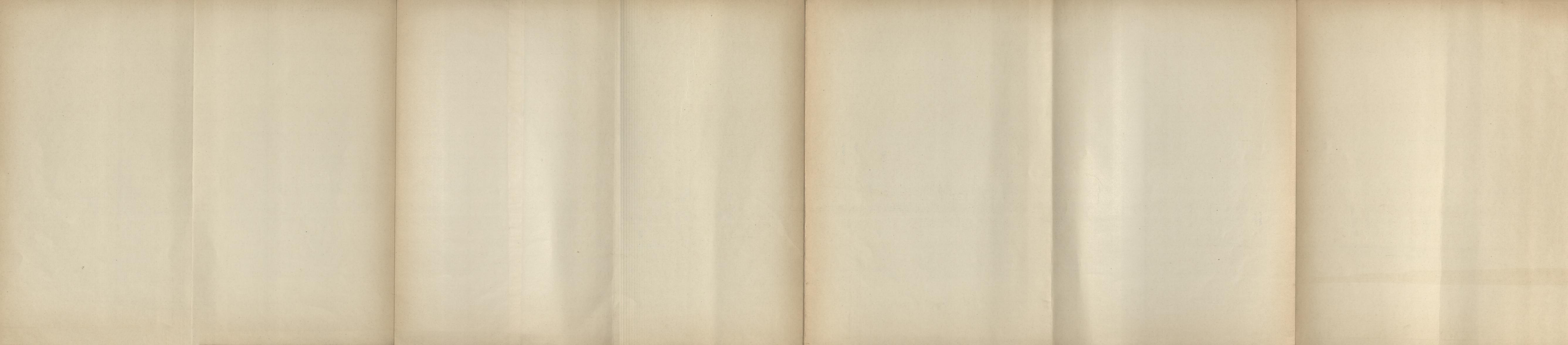
Abréviation
des principales distances à parcourir par les navigateurs

Distances exprimées en "milles marins" de 1852 mètres

	Par le Cap Horn	Par le Canal	Abréviation de distance
Plymouth à San Francisco.	13.491	7.775	5.716
Plymouth à Honolulu.	13.671	9.196	4.475
Plymouth à Valparaiso.	8.717	7.081	1.636
Plymouth à Callao.	9.908	5.810	4.148
Plymouth à Victoria Vancouver.	14.210	8.492	5.718
New-York à Valparaiso.	8.548	4.534	4.014
New-York à Panama.	11.067	1.926	9.131
New-York à Callao.	9.791	3.353	6.528
New-York à Guayaquil.	10.444	2.768	7.673
New-York à San-Francisco.	13.324	5.228	8.096

NOTA. — Extraits du tableau des distances publié par l'Administration française pour l'application de la loi de 29 Janvier 1881 accordant des primes à la marine marchande.

2.
Bill. 9.48 Panama Canal.
40.



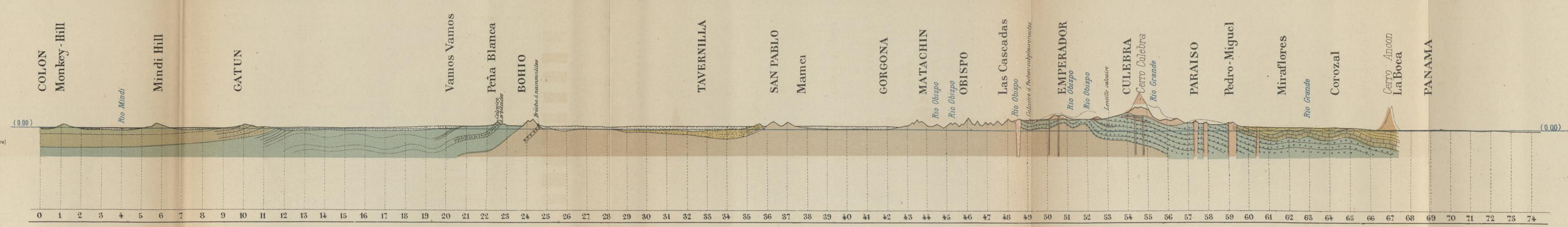
Légende

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

COUPE GÉOLOGIQUE

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

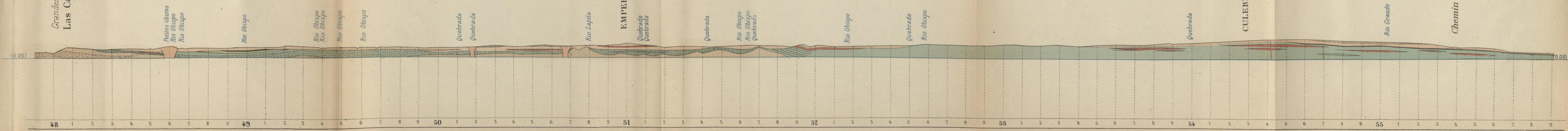
Nota. — Si la coupe était prise parallèlement plus à l'Est, elle rencontrerait au lieu des tufs trachytiques de la plaine de Tavernilla, les mollasses miocènes d'Alhajuela, couvrant le plateau en bancs horizontaux.



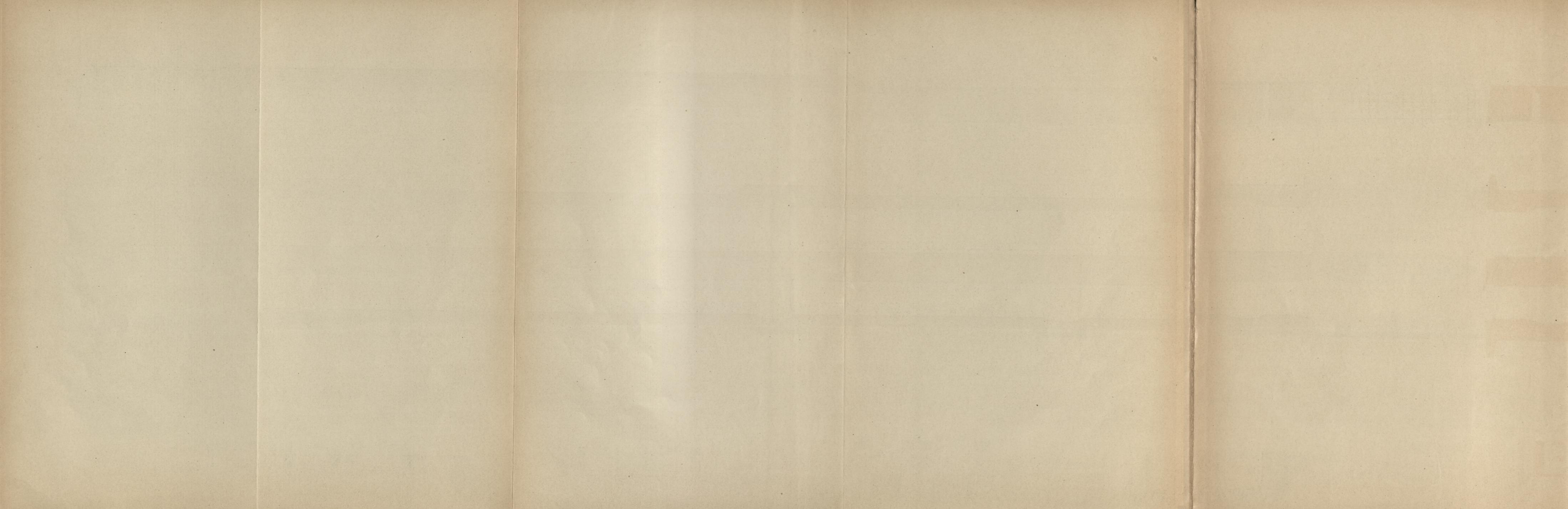
COUPE GÉOLOGIQUE DE LA GRANDE TRANCHÉE

(Emperador et Culebra)

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

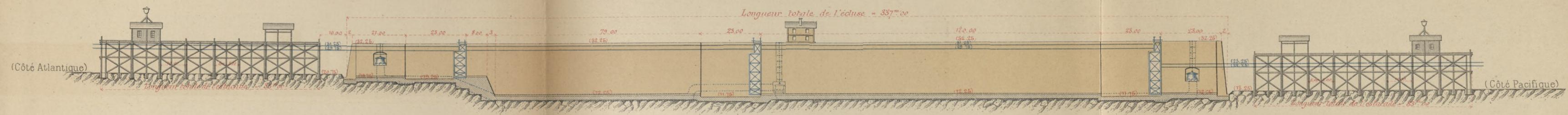


Chemin de fer P.R.R.

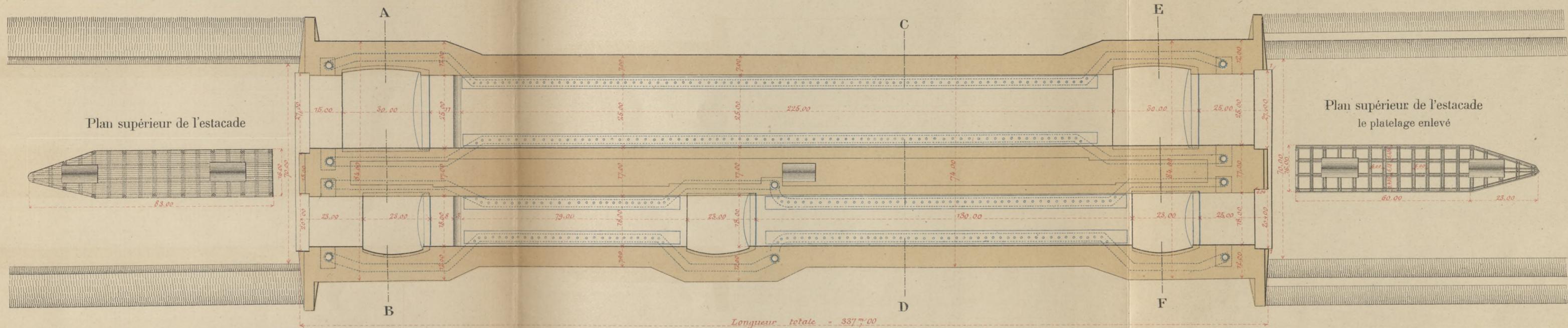


ÉCLUSE DE PARAISO

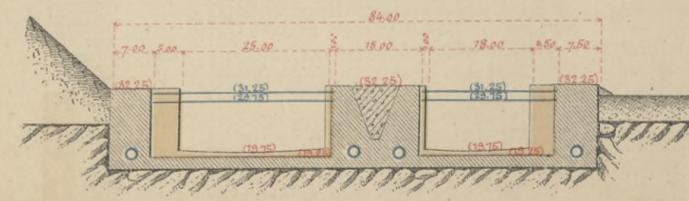
Coupe longitudinale (Échelle de 0^m002 p. m.)



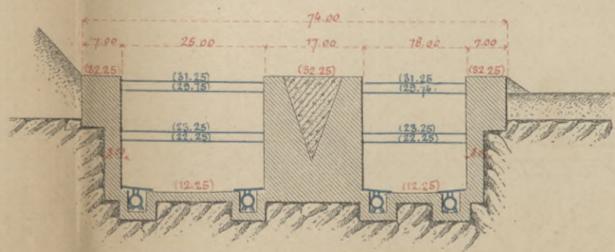
Plan supérieur



Coupe A B

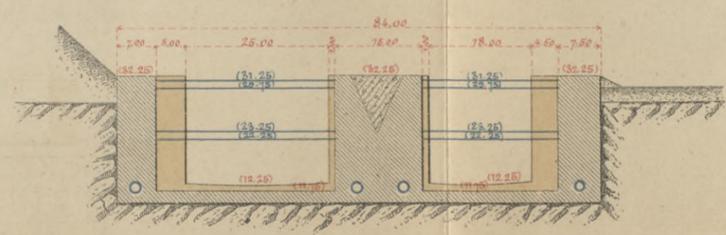


Coupe C D

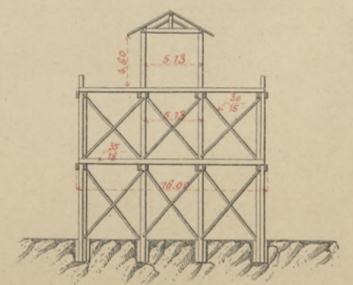


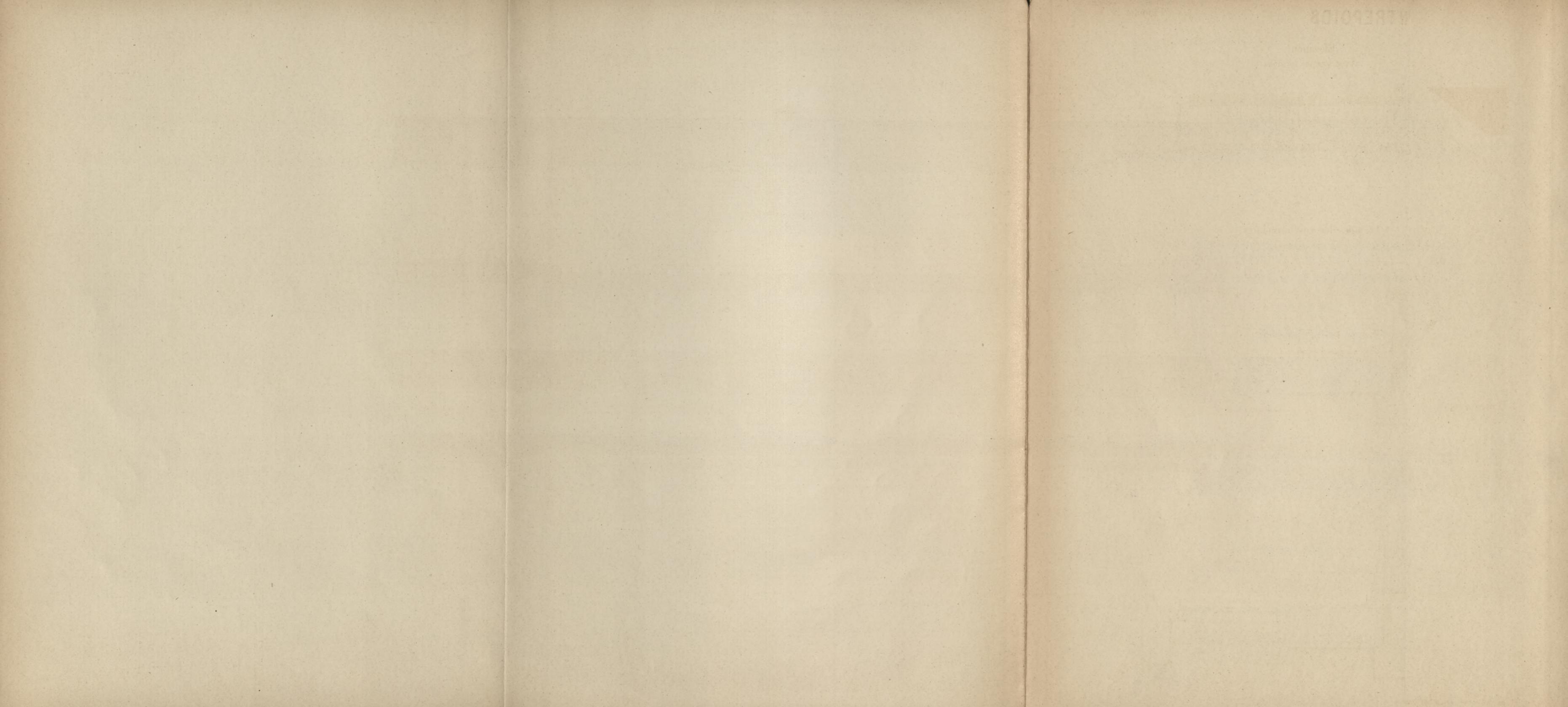
Échelle de 0^m001 p. m.

Coupe E F



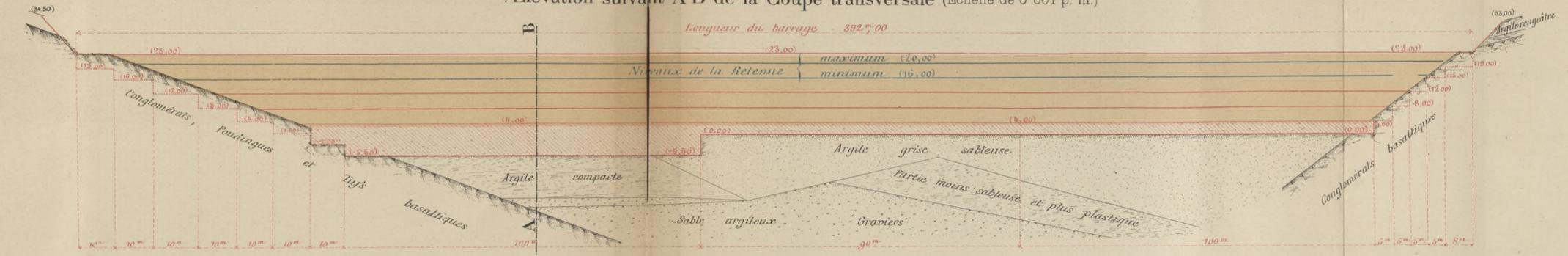
Coupe transversale de l'estacade



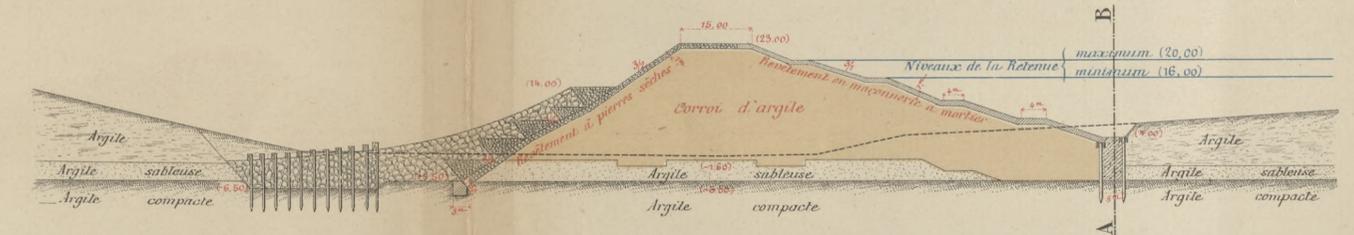


BARRAGE DE BOHIO

Élévation suivant AB de la Coupe transversale (Échelle de 0^m001 p. m.)

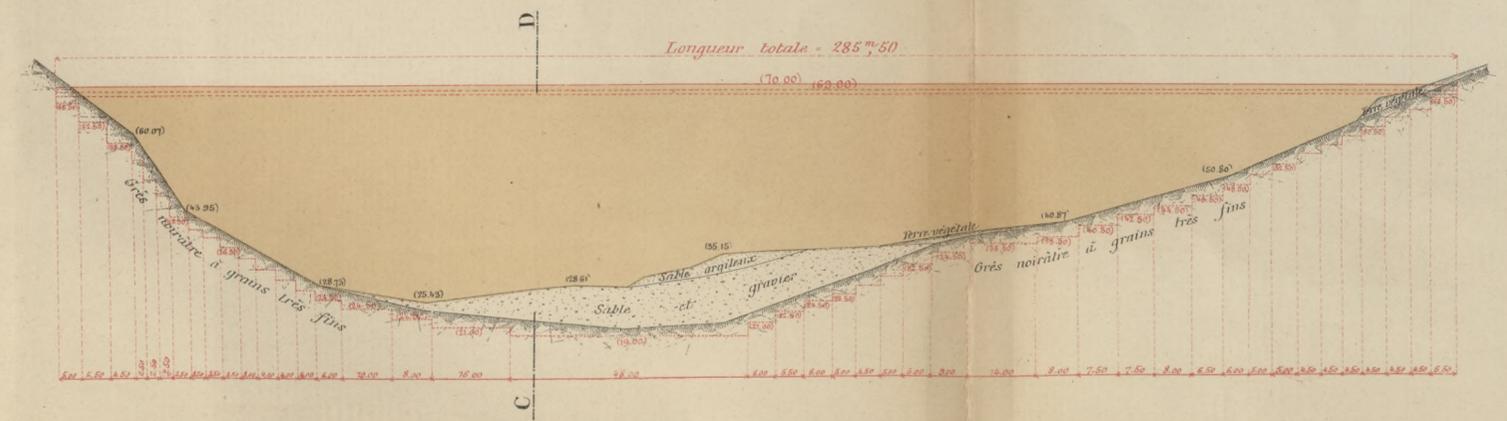


Coupe transversale suivant AB (Échelle de 0^m001 p. m.)

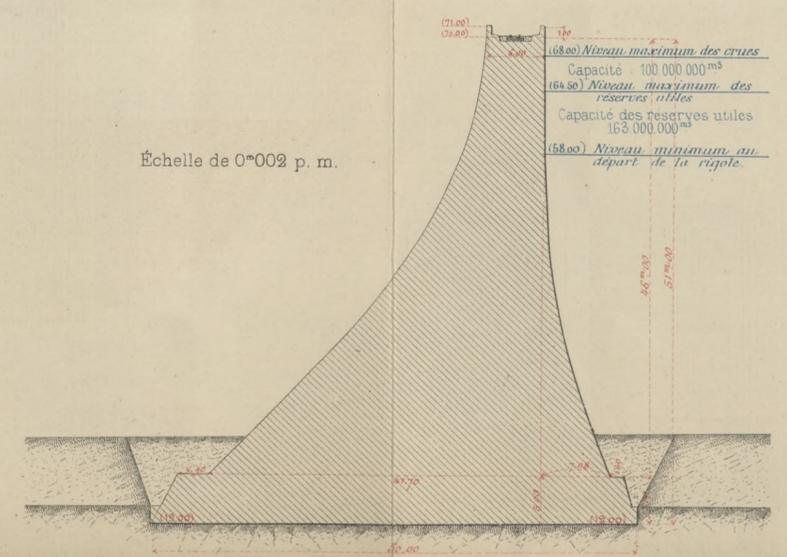


BARRAGE D'ALHAJUELA

Élévation (Côté amont) Échelle de 0^m001 p. m.

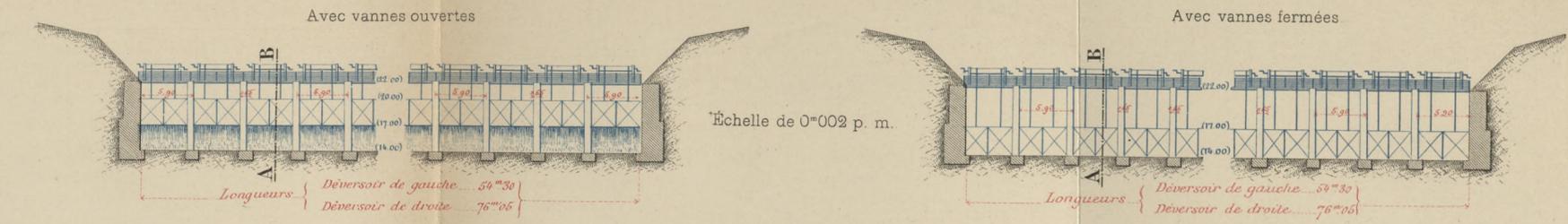


Coupe transversale suivant CD

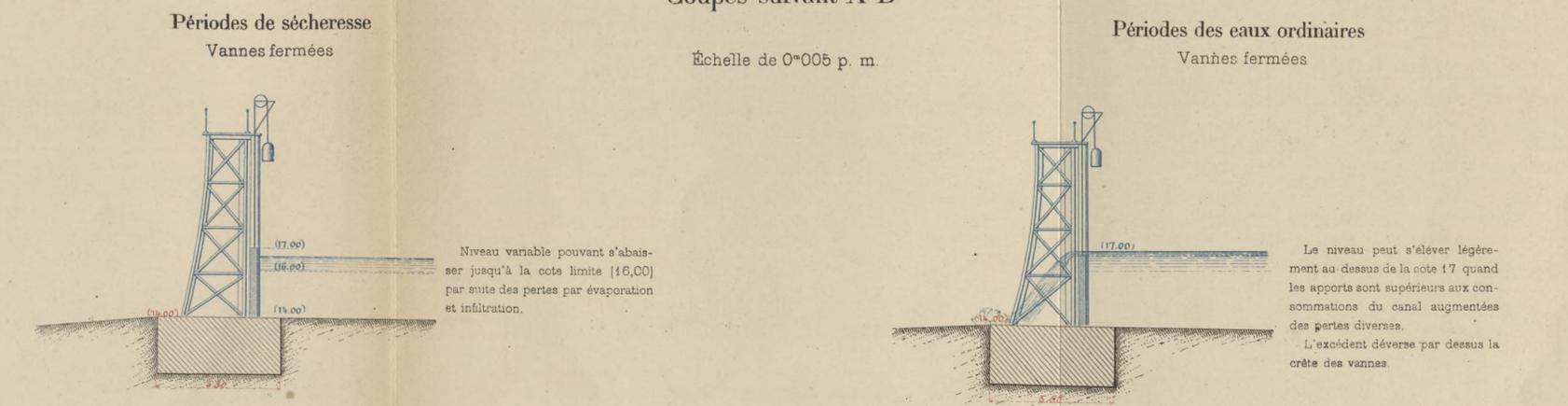


DÉVERSOIRS DE BOHIO AVEC VANNES A CONTREPOIDS

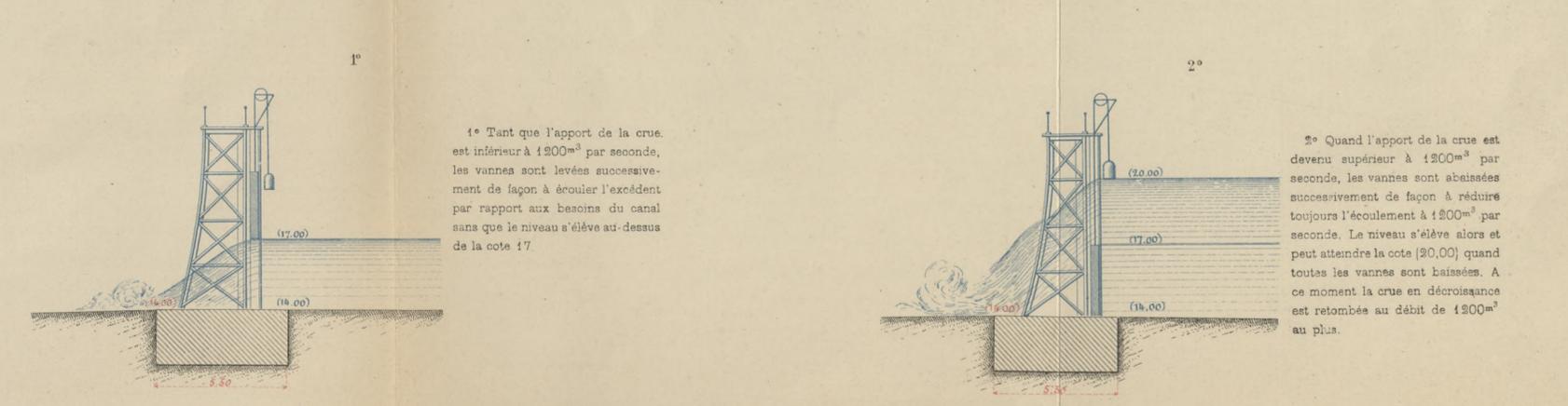
Élévation à titre d'indications générales

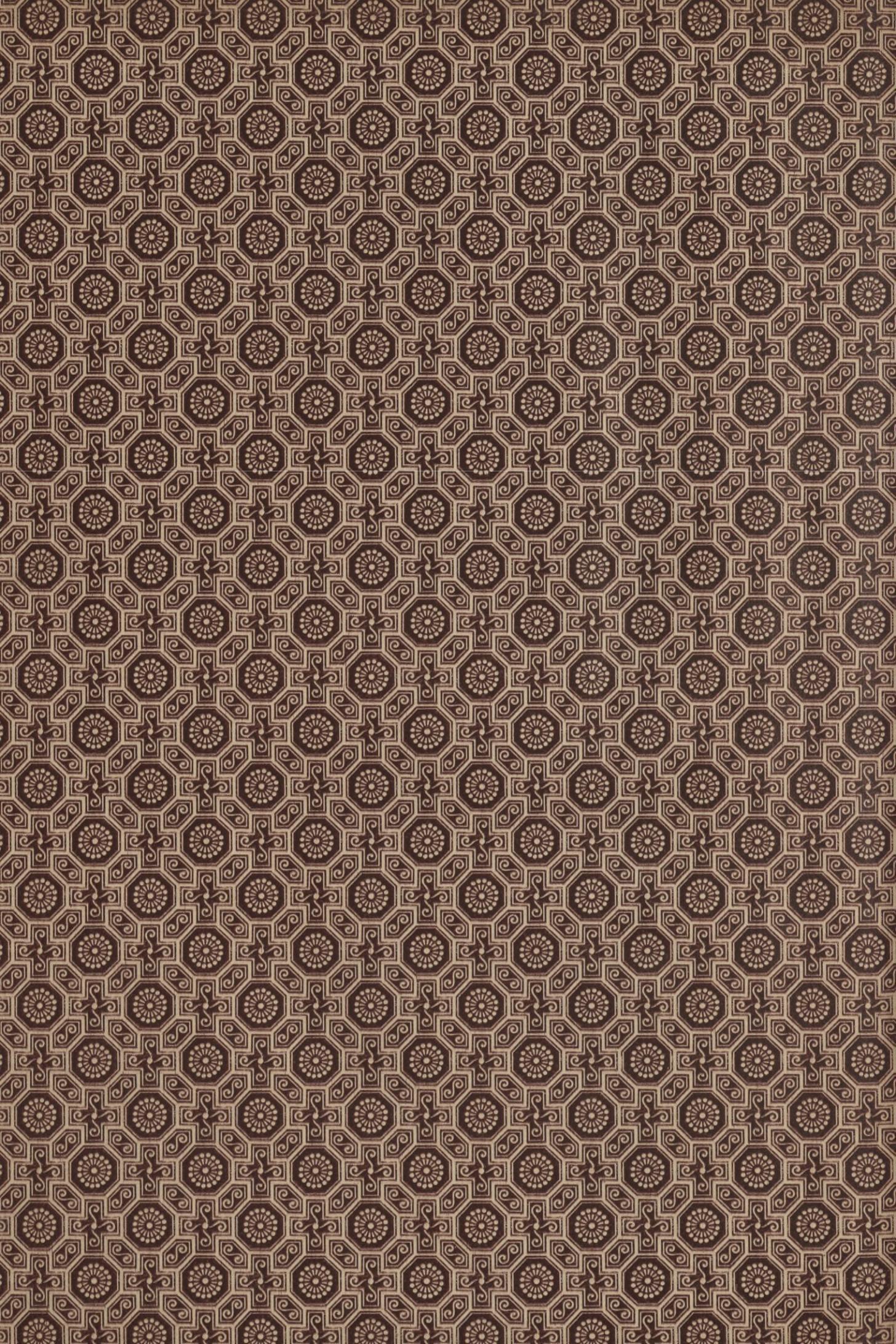


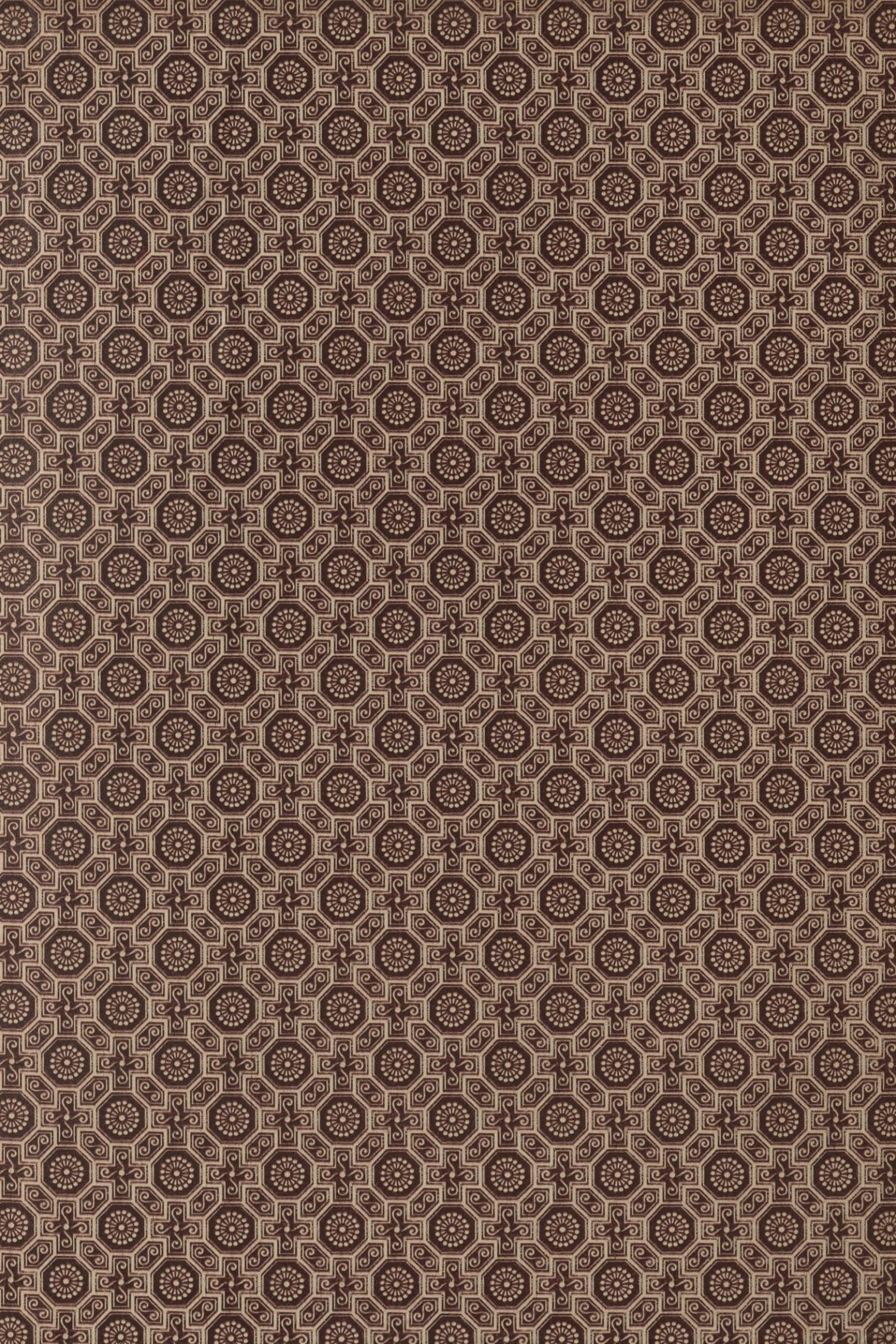
Coupes suivant A B



Périodes des crues







WYDZIAŁY POLITECH

BIBLIOTEK

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-18349

Druk. U. J. Zam. 356. 10.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300943